

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Bakalářský studijní program:

Zaměření:

Katedra obrábění a montáže

strojírenská technologie

obrábění a montáž

Analýza vlivu procesních kapalin na kvalitu povrchu při soustružení konstrukčních ocelí pro firmu PARAMO, a. s.

**Analysis of the influence of process fluids to the surface quality in turning steels for
Paramo, Inc.**

KOM - 1204

Jaroslav Rak

Vedoucí práce:

Prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.

Konzultant:

Ing. Roman Licek

Počet stran:

62

Počet příloh:

4

Počet tabulek:

18

Počet obrázků:

18

Počet grafů:

20

4. 1. 2013



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení : **Jaroslav R A K**
Studijní program : B2341 Strojírenství
Obor : 3911R018 Materiály a technologie
Zaměření : Obrábění a montáž

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Analýza vlivu procesních kapalin na kvalitu povrchu při soustružení konstrukčních ocelí pro firmu PARAMO, a. s.

Zásady pro vypracování :

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Shrnutí poznatků o integritě povrchu po soustružení.
2. Definice pojmu drsnost povrchu, metody měření drsnosti povrchu.
3. Návrh metodiky experimentů pro zkoumání vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu při soustružení konstrukčních ocelí.
4. Realizace experimentů v laboratoři KOM FS TUL.
5. Hodnocení obrobených součástí a porovnání jednotlivých procesních kapalin.
6. Analýza laboratorních výsledků; vyvození závěrů.



Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva : cca 30 stran textu
- grafické práce : obrázky, tabulky a grafy - dle potřeby

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu) :

1. MÁDL, J. Řezné kapaliny v současné technologii obrábění. In: *Sborník vědeckých prací*. 1. vyd. Ekologie obrábění, Strojírenská technologie knihovnička, 2000, s. 9 - 18. ISBN 80-7044-232-8.
2. SANDVIK Coromant, Sandviken: *Technická příručka obrábění – soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástroje*. 2005. 601 s.
3. HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. *Terminologie obrábění a montáže*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, ÚTRV, 2005. 208 s. ISBN 80- 7044-616-1.

Vedoucí bakalářské práce: Prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Roman Licek




Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
vedoucí katedry


Doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci, dne 13. 03. 2012

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

**Analýza vlivu procesních kapalin na kvalitu povrchu při soustružení
konstrukčních ocelí pro firmu PARAMO, a. s.**

ANOTACE:

Cílem této bakalářské práce je porovnání dílčích vlastností šesti procesních kapalin od firmy PARAMO, a. s. při soustružení konstrukčních ocelí. Hodnotícím kritériem byla drsnost povrchu.

Vyvozené výsledky bakalářské práce dokazují, že procesní kapaliny mají velký vliv na výslednou kvalitu povrchu při soustružení konstrukčních ocelí.

**Analysis of the influence of process fluids to the surface quality in turning steels for
Paramo, Inc.**

ANNOTATION:

The aim of the bachelor's thesis is the comparing partial qualities of six's process fluids from the company Paramo a.s., during the turning designed of a steel. The evaluated value was the roughness of surface.

The final values of this bachelor thesis show that process fluids have a big impact on the final quality of the surface during the turning of designed steel.

Klíčová slova: PROCESNÍ KAPALINY, DRSNOST POVRCHU, KONSTRUKČNÍ OCEL

Zpracovatel:

TU v Liberci, KOM

Dokončeno:

2013

Archivní označ. zprávy:

Počet stran:	62
Počet příloh:	4
Počet obrázků:	18
Počet tabulek:	18
Počet grafů:	20

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl zejména poděkovat vedoucímu práce Prof. Ing. Alexey Popovovi DrSc., za cenné informace a rady při zpracování bakalářské práce. A dále panu Ing. Romanu Lickovi za odborné vedení a velmi užitečné konzultace.

Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům Katedry obrábění a montáže za jejich ochotu a vstřícnost v celém průběhu vypracování této bakalářské práce.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat paní Ing. Kateřině Rakové za pomoc se stylistickou formou práce, dále pak rodičům, příbuzným, přátelům a všem, kteří mě po celou dobu vypracování práce jakkoliv podpořili.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	9
Úvod.....	10
1 Shrnutí poznatků o integritě povrchu po soustružení	11
1.1 Soustružení	11
1.2 Jemná a hrubá struktura povrchových ploch.....	11
1.3 Integrita povrchu	13
1.3.1 Integrita povrchu a její význam při obrábění	13
1.3.2 Složky integrity povrchu.....	13
2 Definice pojmu drsnost povrchu, metody měření drsnosti povrchu.....	15
2.1 Drsnost povrchu	15
2.1.1 Základní charakteristiky drsnosti povrchu.....	15
2.1.2 Základní metody měření drsnosti povrchu	18
2.2 Vliv nárůstku na drsnost povrchu	21
2.3 Procesní kapaliny	21
2.3.1 Základní druhy procesních kapalin.....	22
3 Návrh metodiky experimentů pro zkoumání vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu při soustružení konstrukčních ocelí	23
3.1 Metodika experimentů.....	23
3.1.1 Řezné podmínky	23
3.1.2 Testování procesních kapalin.....	24
3.2 Charakteristika použitých procesních kapalin.....	24
3.2.1 Vodou mísitelné procesní kapaliny.....	24
3.2.2 Měření koncentrace procesních kapalin	29
3.3 Použitý materiál.....	31
3.3.1 Konstrukční ocel 12 020	31
3.3.2 Konstrukční ocel 14 340	31
3.3.3 Konstrukční ocel 15 260	32
3.3.4 Nástrojová ocel 19 436	32
3.4 Popis stroje, nástrojů a měřicího zařízení.....	33
3.4.1 Měření dotykovou metodou.....	36
4 Hodnocení obrobených součástí a porovnání jednotlivých procesních kapalin.....	37
4.1 Volba optimálních řezných podmínek pro testování vlivu procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při soustružení konstrukčních ocelí	37

4.1.1	Vliv hloubky řezu a_p [mm] na parametr drsnosti povrchu a nosný podíl	37
4.1.2	Vliv řezné rychlosti na kvalitu povrchu bez použití kapalin	40
4.1.3	Vliv posuvu f [mm/ot] na parametr drsnosti povrchu.....	42
4.2	Porovnávání jednotlivých procesních kapalin.....	46
4.2.1	Porovnání jednotlivých procesních kapalin při posuvu $f = 0,05$ mm/ot, řezné rychlosti $v_c = 3-5$ m/min a hloubce záběru $a_p = 0,5$ mm.....	46
4.2.2	Porovnání jednotlivých procesních kapalin při posuvu $f = 0,15$ mm/ot, řezné rychlosti $v_c = 3-5$ m/min a hloubce záběru $a_p = 0,5$ mm.....	51
	Analýza laboratorních výsledků, vyvození závěrů.....	55
	Seznam použité literatury	57
	Seznam grafů.....	59
	Seznam obrázků.....	60
	Seznam tabulek.....	61
	Seznam příloh.....	62

Seznam použitých zkratek a symbolů

<i>Zkratka/ Symbol</i>	<i>Jednotka</i>	<i>Popis</i>
a_p	[mm]	Hloubka řezu
Al	[-]	Chemická značka hliníku
C	[-]	Chemická značka uhlíku
C_{tp}	[mm]	Nosný podíl
Cr	[-]	Chemická značka chromu
f	[mm/ot]	Posuv
ISO	[-]	Mezinárodní organizace pro standardizaci
lr	[mm]	Měřená délka
Mn	[-]	Chemická značka manganu
Ni	[-]	Chemická značka niklu
P	[-]	Chemická značka fosforu
$r\varepsilon$	[mm]	Rádus špičky
Ra	[μ m]	Střední aritmetická úchylka profilu
Rp	[μ m]	Největší výška výstupku profilu,
Rv	[μ m]	Největší hloubka prohlubně profilu
Rz	[μ m]	Největší výška nerovnosti profilu
Rm	[MPa]	Pevnost v tahu
Re	[MPa]	Mez kluzu
S	[-]	Chemická značka síry
s	[mm]	Tloušťka
Si	[-]	Chemická značka křemíku
V	[-]	Chemická značka vanadu
v_c	[m/min]	Řezná rychlost

Úvod

Při soustružení a ostatních metodách třískového obrábění dochází vlivem řezného nástroje k ubírání materiálu z povrchu obrobku. Tento obrobený povrch má specifické vlastnosti, které jsou závislé na druhu obrábění, podmínkách obrábění, obráběcím prostředí apod.

Výsledný povrch velmi ovlivňuje tvorba nárůstku a vzniklé teplo při obrábění. Tyto dvě negativní vlastnosti jsme schopni v jisté míře snížit změnou řezných podmínek a použitím procesních kapalin. Aplikací těchto parametrů lze docílit velmi kvalitních povrchů a lepších výsledků celkové integrity povrchu, což je podstatné především pro dokončovací operace.

Jedním z uvedených parametrů je volba optimálních řezných podmínek obrábění. Mezi řezné podmínky patří hloubka řezu a_p , řezná rychlost v_c a posuv f . Změnou těchto podmínek lze dosáhnout poklesu tvorby nárůstku a snížení teploty při obrábění. To vše se projeví na výsledném obrobeném povrchu.

Druhou částí jak lze docílit vhodných výsledků integrity povrchu je použití procesních kapalin. Kapaliny mají velmi kladný vliv na obrábění. Mezi hlavní výhody patří odvod tepla z místa řezu, vyplavování třísek a mazací účinek. To vše vede ke snížení tvorby nárůstku a ke zlepšení integrity povrchu.

Cílem této bakalářské práce je zjištění dílčích vlastností procesních kapalin od firmy PARAMO, a.s. při obrábění konstrukčních ocelí. Pro provedení experimentu bylo nutné vybrat optimální řezné podmínky. Pro měření byla zvolena dotyková metoda za pomoci měřicího přístroje Mitutoyo SV-2000 v laboratoři KOM FS TUL. V poslední části se bakalářská práce věnuje porovnání jednotlivých procesních kapalin.

Dále bakalářská práce zahrnuje odbornou technickou terminologii, zaměřenou na integritu povrchu, vysvětlení tvorby nárůstku a vlivu na obrobený povrch, problematiku spojenou s drsností povrchu a věci týkající se procesních kapalin.

1 Shrnutí poznatků o integritě povrchu po soustružení

1.1 Soustružení

Soustružení je jednou ze základních metod třískového obrábění, jako je frézování, vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování, vyvrtávání, hoblování a obrážení, protahování a protlačování.

Hlavní charakteristikou soustružení a dalších uvedených metod je použití nástrojů s definovanou geometrií břitu. Soustružením se zhotovují součásti rotačních tvarů. Zjednodušeně se dá říci, že soustružení je ubírání materiálu z povrchu obrobku, pomocí jednobřitého nástroje. Řezný nástroj je v mnoha případech pevný, zatím co obrobek koná rotační pohyb.

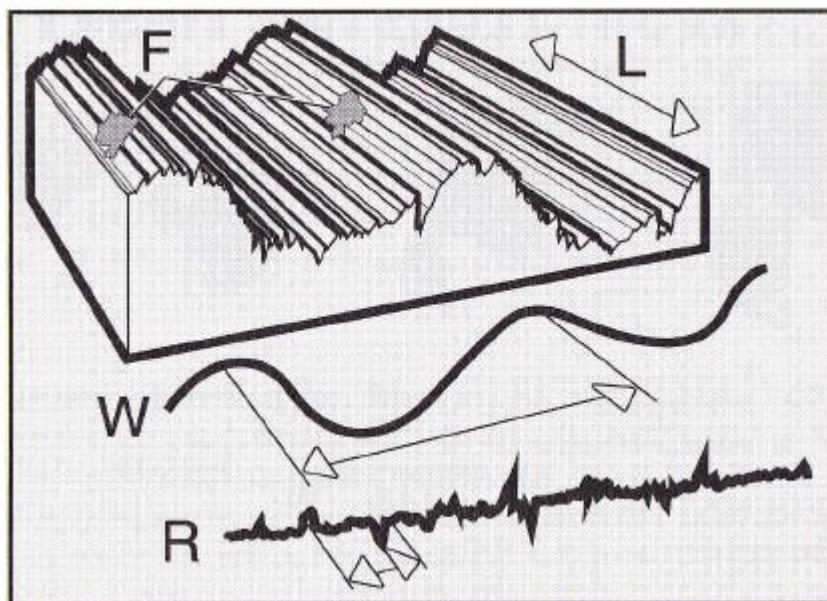
Jako nástroj je při operaci soustružení použit soustružnický nůž, který vniká do obráběného materiálu a dochází v místě řezu k tvorbě třísky a tedy ke vzniku určité struktury povrchu. Vlastnosti nové struktury jsou ovlivněny řadou faktorů obrábění, jako je řezná rychlost, posuv, hloubka řezu, přívod kapaliny do místa řezu apod.[3],[12].

1.2 Jemná a hrubá struktura povrchových ploch

Na jemných a hrubých strukturách povrchových ploch obráběných řeznými nástroji se projevují nepravidelnosti, které vznikly při obrábění. Stav povrchu je závislý na procesu obrábění, na použitém nástroji a stupni opotřebení břitu a také na statické a dynamické tuhosti celého systému, který se označuje jako systém S-N-O-P to znamená stroj, nástroj, obrobek a přípravek (upínání apod.).

Stav celkového povrchu je definován následujícími parametry:

- 1) Drsnost - (R), zobrazena na obrázku 1
- 2) Vlnitost – (W), zobrazena na obrázku 1
- 3) Odchytky tvaru



Obrázek 1 Zobrazení drsností, nerovností a odchylek tvaru [3]

Drsnost (R):

Tento jev bude popsán níže na následujících stránkách této bakalářské práce.

Vlnitost (W):

Větší nerovnosti způsobené deformací a kmitáním obrobku, případně pnutím v materiálu součásti. Vzdálenosti nejvyšších a nejnižších bodů jsou větší než u drsnosti. Vlnitost je přisuzována vlastnostem obráběcího stroje, nedokonalou tuhostí soustavy (stroj-nástroj-obrobek), vůlí apod.

Odchylky tvaru:

Největší nerovnosti profilu povrchu, které vznikají nezávisle na drsnosti a vlnitosti povrchu. Odchylky jsou důsledkem především nedokonalého upnutí obrobku, nebo mohou být způsobené nepřímostí vodících ploch, případně deformací při vyšších teplotách řezání [9].

1.3 Integrita povrchu

Pojem integrita povrchu se dá definovat jako soubor složek, prostřednictvím kterých lze stanovit vlastnosti obrobeného povrchu. Tyto složky zahrnují řadu parametrů, které jsou danými metodami sledovány, měřeny a vyhodnocovány. Na základě těchto rozborů dochází k hodnocení kvality povrchu a zpětného určení vhodnosti použití dané technologie, řezných podmínek a řezného prostředí při obrábění.

1.3.1 Integrita povrchu a její význam při obrábění

Obrábění je velmi rozsáhlý proces, který je závislý na celé řadě podmínek a omezení. Při obrábění používáme technologie s definovanou geometrií ostří (soustružení, frézování, vrtání, apod.) nebo technologie vyznačující se obtížně nebo nedefinovatelnou geometrií ostří (broušení, honování, superfiniš, apod.). I přes jejich výhody či nevýhody, vyznačují se tyto technologie společnou vlastností, dochází při nich k tvorbě nového povrchu. Tento nový povrch se označuje jako plocha obrobená. Má specifické vlastnosti, které jsou závislé na použité technologii, řezných podmínkách a řezném prostředí při její tvorbě. Existuje tedy řada faktorů, které se musejí sledovat, aby byly zachovány vhodné parametry jednotlivých složek integrity povrchu. Tyto parametry by se mohly negativně projevit při používání obrobené součásti a mohlo by dojít k neočekávaným následkům [13].

1.3.2 Složky integrity povrchu

Integritu povrchu tvoří řada složek, kterými se dají popsat vlastnosti povrchu, jeho kvalitu a vhodnost pro použití v různých prostředích, či aplikacích.

Základní složky integrity povrchu jsou:

- zbytková napětí,
- mikrotvrdost,
- změny struktury v povrchové vrstvě,
- drsnost povrchu.

Zbytková napětí po obrábění:

Plastická deformace obrobeného povrchu spolu s nerovnoměrným ohřevem povrchových vrstev materiálu při obrábění jsou příčinou vzniku pnutí v povrchových vrstvách obrobku, tzv. zbytkového napětí. To může způsobit poškození součástek při provozu strojů únavovým lomem, zvláště při cyklickém zatížení.



Obrázek 2 Zbytková napětí po obrábění [1]

Mikrotvrdost:

Z hlediska obrábění jsou hlavní faktory ovlivňující mikrotvrdost: vznik a množství tepla, schopnost snížit a odvést teplo z řezného prostředí. Velký vliv má přívod procesní kapaliny, která snižuje vznik tepla, což vede ke snížení růstu mikrotvrdosti.

Změny struktur v povrchové vrstvě:

Vlivem vysokého mechanického zatížení a velkých řezných podmínek dochází k velkému vzniku tepla při obrábění, což může vést až ke změně struktury materiálu. Tyto změny jsou negativní a nežádoucí, protože nám ovlivní následné užité vlastnosti obrobeného materiálu. Změny struktur se můžeme vyvarovat použitím vhodné procesní kapaliny, která sníží vznik tepla, nebo změnou řezných podmínek [8].

2 Definice pojmu drsnost povrchu, metody měření drsnosti povrchu

2.1 Drsnost povrchu

Drsnost povrchu ovlivňuje výrazně dobu životnosti a spolehlivost provozu součástí. Na drsnosti velmi závisí přesnost chodu strojních součástí, jejich hlučnost, únavová pevnost, odolnost proti korozi apod. a proto se klade v dnešní době velký důraz na požadavky drsnosti při výrobě.

Drsností obrobeného povrchu rozumíme rozměrově nepravidelnosti povrchu, jako jsou rýhy, důlky, prohlubeniny a vyvýšeniny. Tyto stopy zanechal břit nástroje a jsou patrné v řezu kolmém k povrchu, mohou být pravidelné a nepravidelné. O drsnosti povrchu rozhoduje mnoho faktorů, jako je například tvar nástroje, tvar břitu nástroje, řezné podmínky, způsob opracování apod. Velký vliv na drsnost povrchu má i tvorba nárůstku, který vzniká při obrábění v místě řezu. Tento jev bude popsán v kapitole 2.2.

Drsnost můžeme rozdělit podle směrů na dva základní druhy [1], [4]:

- Drsnost podélnou (ve směru řezného pohybu při obrábění)
- Drsnost příčnou (ve směru posuvu)

Podélná drsnost závisí hlavně na obráběném materiálu, na způsobu vzniku třísek, dále závisí na řezných podmínkách a velikosti deformace pod břitem nástroje. U jemně obrobených povrchů je poměrně nízká. Tříska se při hladkém obrábění odebírá velkou řeznou rychlostí, při malém posuvu a malé hloubce řezu, což nevyvolává velké odpory, a tím ani deformace.

Příčná drsnost může být při obrábění jednobřitým nástrojem odvozena z tvaru a pohybu (posuvu) řezného nástroje vzhledem k obrobku. Tvar povrchu a velikost příčné drsnosti je dán hustotou, tvarem a hlavně výslednou výškou rýh po řezném nástroji.

2.1.1 Základní charakteristiky drsnosti povrchu

Požadavky na drsnost povrchu se vyjadřují charakteristikou (veličinou) drsnosti povrchu (jednou, nebo několika) číselnou hodnotou příslušné veličiny a základní délkou, na které se veličina určuje. Metody hodnocení drsnosti povrchu udává norma ISO 4287.

Mezi základní charakteristiky drsnosti povrchu patří:

- R_a – střední aritmetická úchylka profilu,
- R_z – největší výška nerovnosti profilu,
- R_p – největší výška výstupku profilu,
- R_v – největší hloubka prohlubně profilu.
- C_{tp} – nosný podíl

Střední aritmetická úchylka profilu R_a

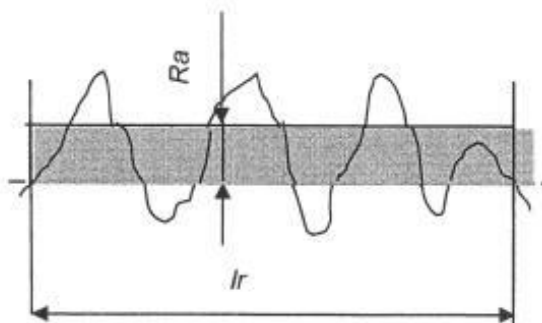
Integrální metoda výpočtu:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

$y(x)$ – funkce popisující profil povrchu

l – základní délka

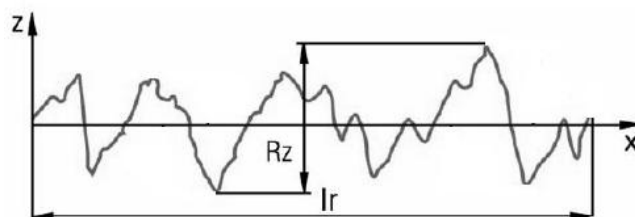
Je jednou z nejvíce žádaných a používaných veličin charakterizující drsnost povrchu. Je definována jako střední aritmetická hodnota absolutních odchylek profilu v rozsahu základní měřené délky l_r . R_a neudává dostatečné informace o povrchových nerovnostech, a proto by měla být používána ve vhodné kombinaci s jinými charakteristikami povrchu. U extrémně velkých, nebo naopak u velmi hladkých obrobených ploch může být tato hodnota velmi nepřesná. Proto je vhodné zvolit jinou veličinu charakterizující drsnost povrchu, nebo je zkombinovat a vyhodnotit výsledky [1], [4]. Průměrná aritmetická úchylka profilu R_a je zobrazena na obrázku 3.



Obrázek 3 Střední aritmetická úchylka profilu R_a [11]

Největší výška nerovnosti profilu R_z

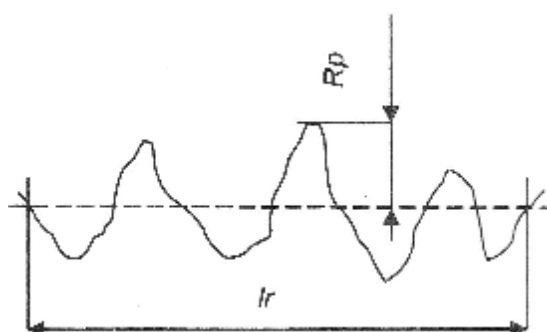
Je to výšková charakteristika drsnosti povrchu, která je definována jako vzdálenost mezi nejvyšším výstupkem profilu a největší prohlubní profilu v rozsahu základní měřené délky l_r . Největší výška nerovnosti profilu R_z je zobrazena na obrázku 4.



Obrázek 4 Největší výška nerovnosti profilu R_z [11]

Největší výška výstupku profilu R_p

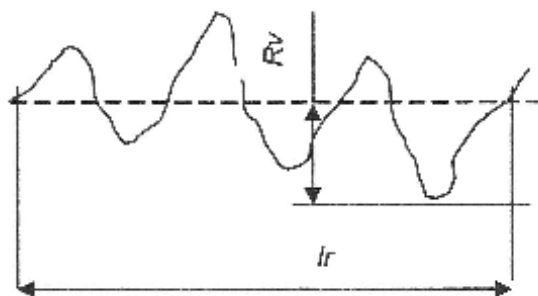
Patří také mezi základní charakteristiky drsnosti povrchu. Je to výška největšího výstupku v rozsahu měřené délky l_r . Největší výška výstupku profilu R_p je zobrazena na obrázku 5.



Obrázek 5 Největší výška výstupku profilu R_p [11]

Největší hloubka prohlubně profilu R_v

Je to měřené místo s největší hloubkou prohlubně v rozsahu měřené délky l_r . Největší hloubka prohlubně profilu R_v je zobrazena na obrázku 6.



Obrázek 6 Největší hloubka prohlubně profilu R_v [11]

Nosný podíl C_{tp}

$$C_{tp} = \frac{l_p}{l}$$

l_p – nosná délka

l – základní délka

Abbottova křivka je výsledkem měření profilu. Vyjadřuje se graficky, jako poměr materiálu a vzduchu v oblasti nerovností na povrchu měřeného vzorku. Nebo se může vyjádřit číselně například pro 50% hodnotu C_{tp50} , což značí hloubku, ve které je podíl materiálu a vzduchu 1:1 [16].

2.1.2 Základní metody měření drsnosti povrchu

Pro hodnocení drsnosti povrchu lze v dnešní době použít různých metod. Každá metoda má své výhody a nevýhody. Použití vhodné metody ovlivňuje mnoho faktorů, jako je například přesnost měření, možnost použití, cena, rychlost a podobně.

Mezi základní druhy měření drsnosti povrchu patří:

- vizuální zkouška,
- porovnávací metoda,
- metoda světelného řezu,
- interferenční metoda,
- dotyková metoda.

Vizuální zkouška

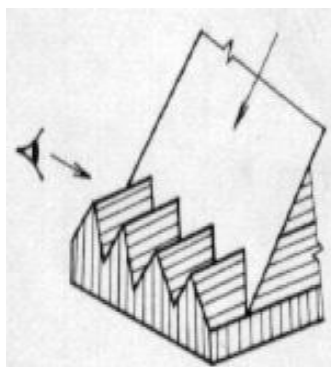
Nejméně přesná metoda, provádíme ji pouze pro zjištění zřejmě lepší, nebo zřejmě horší drsnosti než je drsnost specifikovaná. Je to rychlá a cenově nenáročná metoda, ale je velmi nepřesná.

Porovnávací metoda

Drsnost součásti se porovnává s drsností na vzorkovnici. Vzorkovnice je sada etalonů (vzorků tvaru válečků nebo destiček), u nichž hodnota R_a odpovídá praktické řady stupňů drsnosti. Pro přesnější srovnání vzorků se používá porovnávací mikroskop, v jehož okuláru jsou vidět oba vzorky současně, což nám umožní přesnější měření drsnosti.

Metoda světelného řezu

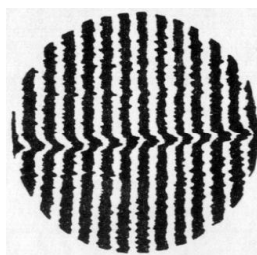
Pro měření je použito úzkého svazku světelných paprsků, které dopadají na povrch měřené součásti pod úhlem 45° . Průnikem tohoto svazku a povrchu součásti vznikne obraz profilu šikmého řezu nerovností plochy. Pro měření je použit mikroskop s mikrometrickým okulárem, který obsahuje nitkový kříž, ze kterého se odečítají hodnoty. Tato metoda je zobrazena na obrázku 7.



Obrázek 7 Metoda světelného řezu [9]

Interferenční metoda

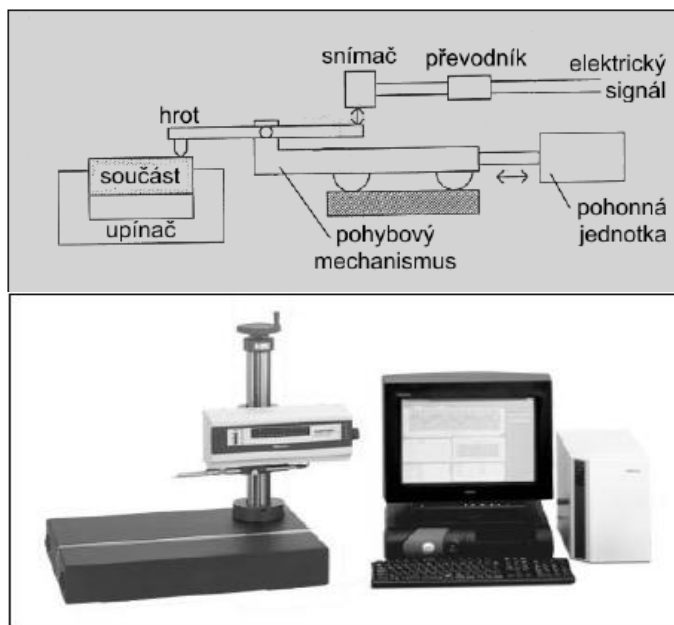
Ze zdroje světla vychází svazek paprsků, který se rozdělí v polopropustné rovině na dva dílčí paprsky. Jeden jde na povrch součásti a zpět, druhý na odrazné zrcadlo a zpět. Oba paprsky jsou opět spojeny v dělicí rovině a míří do okuláru. Tato metoda je zobrazena na obrázku 8.



Obrázek 8 Interferenční metoda [9]

Dotyková metoda

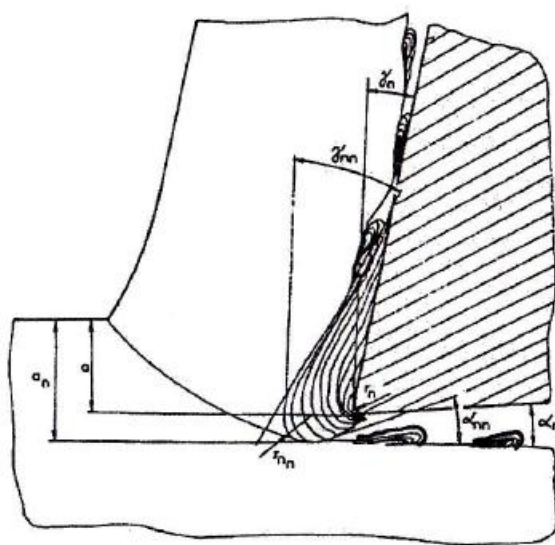
Nejpoužívanější a normovaná metoda měření povrchu. Provádí se za pomoci dotykového přístroje, který se skládá z mechanické a elektronické části. Mechanická část snímá pomocí speciálního hrotu nerovnosti povrchu. Pohyb hrotu je transformován pomocí převodníku na elektronický signál, který je dále zpracován do číslcové, nebo grafické podoby. Vyhodnocení dat je zpracováno přímo ve vyhodnocovací části přístroje, nebo vyhodnoceno v dodaném softwaru připojeného počítače. U této metody může dojít k mechanickému poškození povrchu materiálu, což může způsobit hrot měřicího přístroje, který může u měkčích materiálů zanechat na povrchu rýhy [9]. Dotykovou metodu zobrazuje následující obrázek 9.



Obrázek 9 Dotyková metoda [9]

2.2 Vliv nárůstku na drsnost povrchu

Jedním z důvodů ovlivňujících drsnost povrchu je tvorba nárůstku v místě řezu při obrábění. Nárůstek má vliv na celou řadu výstupních parametrů třískového obrábění, jako jsou teploty řezání, řezné síly, opotřebení řezného nástroje, jakost obrobeného povrchu a další. Všechny tyto vlastnosti se projeví na celkovém stavu drsnosti povrchu. Tvorba nárůstku je jev, který nebyl dosud dostatečně vysvětlen a prakticky každá oblast obrábění je tímto jevem zasažena.



Obrázek 10 Schéma odchodu částic nárůstku s třískou a po obrobeném povrchu [8]

Tvorbu nárůstku lze omezit např. změnou řezných podmínek, nebo vhodnější metodou, což je použití řezných kapalin. Použitím vhodné procesní kapaliny dojde k poklesu teploty při obrábění v důsledku snížení tření a rychlejšího odvodu tepla. Tyto vlastnosti vedou ke snížení tvorby nárůstku, což je velmi důležité pro dosažení kvalitní jakosti povrchu. Funkce a druhy řezných kapalin jsou popsány v následující kapitole [8].

2.3 Procesní kapaliny

Nástroj je během obrábění namáhán tepelně, mechanicky a na otěr. Proto je vhodné při obrábění přivádět do místa řezu vhodnou procesní kapalinu. Základní funkce procesních kapalin se tedy projevuje v jejich chladicím a mazacím účinku.

Procesní kapalina snižuje teplotu obrobku, nástroje i třísky tím, že odvádí teplo z řezné oblasti. Tím se zvyšuje přesnost opracování a nemění se struktura materiálu v povrchové vrstvě. Chladicí účinek závisí na množství přivedené procesní kapaliny za minutu, na tvaru a směru proudu kapaliny a na druhu, viskozitě a teplotě řezné kapaliny. U procesních kapalin mísených s vodou podstatně přispívá k chlazení odpařování vody.

Druhou základní funkcí procesních kapalin je mazací účinek. Třískové obrábění probíhá v oblasti smíšeného tření. Procesní kapaliny snižují mazáním tření v místě působení a snižují opotřebení nástrojů, zahřívání obrobků a potřebu energie. Kapaliny obsahují speciální přísady (aditiva), které při vysokých tlacích a teplotách zamezí svařování vrcholů nerovností obrobku a nástroje. Tím dojde ke snížení opotřebení nástroje a zlepšení kvality povrchu obrobku.

Další důležitou funkcí kapalin je vyplavování a transport třísek, což má také velký podíl na kvalitě a jakosti povrchu obrobkové plochy. Tato schopnost závisí hlavně na viskozitě, objemu proudu a tlaku přivedené kapaliny [6], [16].

2.3.1 Základní druhy procesních kapalin

Pro výrobní postupy třískového obrábění se používá s vodou nemísitelné a s vodou mísitelné kapaliny. Výběr se provádí podle druhu obrábění, podle řezné rychlosti, obráběného materiálu a potřebného chladicího a mazacího účinku. Dále se dělí na kapaliny mísené s vodou obsahující minerální oleje a na roztoky neobsahující minerální oleje.

Na následujícím obrázku 11 je uvedeno rozdělení řezných kapalin.

Rozdělení procesních kapalin	
Vodou mísitelné (chladicí kapaliny)	Minerální Polosyntetické Syntetické Speciální
Vodou nemísitelné (řezné oleje)	Rostlinné Minerální Syntetické Speciální

Obrázek 11 Rozdělení procesních kapalin [6]

3 Návrh metodiky experimentů pro zkoumání vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu při soustružení konstrukčních ocelí

3.1 Metodika experimentů

Jednou z nejdůležitějších částí pro realizaci experimentů byla příprava vzorků procesních kapalin. Jednotlivé procesní kapaliny se musely vhodně naředit s vodou, aby dosahovaly potřebné koncentrace. Koncentrace se měřila za pomoci ručního refraktometru. Tento postup je popsán na následujících stránkách.

3.1.1 Řezné podmínky

Pro porovnání jednotlivých procesních kapalin bylo zapotřebí určit vhodné řezné podmínky. Tyto podmínky se testovaly bez použití procesních kapalin. Měření se provádělo na měřicím přístroji Mitutoyo SV-2000 v laboratoři KOM FS TUL. Výsledky měření jsou vyhodnoceny ve formě grafů na následujících stránkách této bakalářské práce.

V první fázi bylo nutné určit vhodnou hloubku řezu. Určily se čtyři parametry, které se testovaly a to v rozmezí $a_p = 0,5 - 2 \text{ mm}$. Testování proběhlo na zkušebních vzorcích konstrukční oceli třídy 12 020 a 14 340. Po vyhodnocení výsledků se určila vhodná hloubka řezu, která byla použita při celém průběhu experimentu. Z důvodu úspory obráběného materiálu a opotřebení vyměnitelných břitových destiček se přihlíželo na výběr co nejmenší hodnoty hloubky řezu z určeného rozsahu. Výsledky měření jsou popsány v další kapitole této bakalářské práce.

V další části experimentu se určovala vhodná řezná rychlost a to v rozmezí $v_c = 1,5 - 52 \text{ m/min}$. Bylo nutné určit řeznou rychlost, při které dochází k největší tvorbě nárůstku, protože při největší tvorbě nárůstku je vhodné testovat procesní kapaliny. Testování proběhlo na zkušebních vzorcích konstrukční oceli třídy 12 020, 14 340, 15 260 a 19 436. Po vyhodnocení výsledků se zvolila vhodná řezná rychlost pro testování procesních kapalin. Výsledky měření jsou popsány v další kapitole této bakalářské práce.

V poslední fázi volby řezných podmínek bylo zapotřebí určit vhodný posuv pro následující testování procesních kapalin. Byly testovány tři posuvy v rozsahu $f = 0,05 - 0,15 \text{ mm/ot.}$ Testování jednotlivých posuvů proběhlo na zkušebních vzorcích konstrukční oceli třídy 12 020, 14 340, 15 260 a 19 436. Po naměření hodnot se určil vhodný posuv pro následující testování procesních kapalin. Výsledky měření jsou popsány v další kapitole této bakalářské práce.

3.1.2 Testování procesních kapalin

Pro provedení experimentu bylo použito šest druhů procesních kapalin, jejichž příprava a parametry jsou popsány na následujících stránkách této bakalářské práce. Testování proběhlo na zkušebních vzorcích konstrukční oceli třídy 12 020, 14 340, 15 260 a 19 436 za předem stanovených řezných podmínek. Jednotlivé výsledky kapalin se porovnávaly s hodnotami, které byly naměřeny po použití destilované vody, a při obrábění za „sucha“. Jako konečná fáze experimentu se vyhodnotil vliv procesních kapalin na tvorbu nárůstku a schopnost pronikat do oblasti obrábění. Výsledky měření jsou popsány v další kapitole této bakalářské práce.

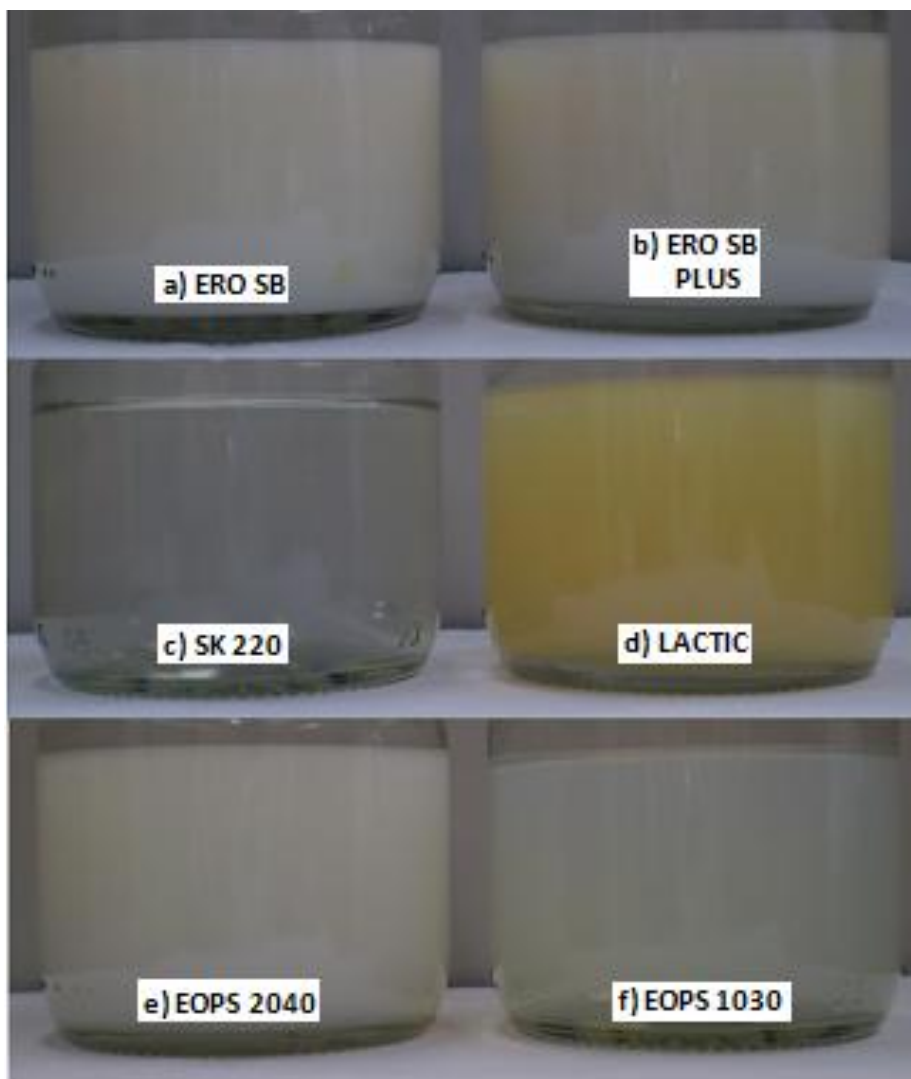
3.2 Charakteristika použitých procesních kapalin

3.2.1 Vodou mísitelné procesní kapaliny

Pro analýzu vlivu procesních kapalin na kvalitu povrchu při soustružení konstrukčních ocelí bylo testováno šest druhů procesních kapalin od firmy PARAMO. Jednotlivé kapaliny jsou uvedeny na obrázku v požadované naředěné koncentraci s vodou. Vlastnosti a použití testovaných kapalin jsou uvedeny na následujících stránkách této bakalářské práce.

Byly použity tyto následující procesní kapaliny, viz obrázek 12:

- PARAMO ERO SB,
- PARAMO ERO SB PLUS,
- PARAMO SK 220,
- PARAMO LACTIC,
- PARAMO EOPS 2040, PARAMO EOPS 1030.



Obrázek 12 Vzorky vodou mísitelných procesních kapalin [Vlastní]

Procesní kapalina PARAMO ERO-SB

Popis:

Emulgační ropný olej, směs ropných olejových frakcí, emulgátorů, inhibitorů koroze a biocidů proti předčasnému mikrobiálnímu rozkladu. S vodou tvoří stálou mléčnou emulzi. Parametry této procesní kapaliny jsou uvedeny v tabulce 1.

Použití:

Procesní kapalina PARAMO ERO-SB je určena pro obrábění s přesně definovanou geometrií nástroje (soustružení, frézování, vrtání, řezání apod.) Je vhodná pro obrábění železných i neželezných kovů. Doporučená koncentrace 3-8 % podle podmínek obrábění.

Tabulka 1 Parametry procesní kapaliny PARAMO ERO – SB [14]

Typické parametry:	ERO SB
viskozita při 40 °C (mm ² /s)	30-50
PH 5% emulze v dest. vodě při 20 °C	9,3
Stálost emulze 5 % v destilované vodě 48 h	vyhovuje
korozní zkouška Herbert-test 2 % emulze v dest. vodě při 20 °C	
korozní zkouška emulze 5 % obj. stupeň	negativní
faktor pro ruční refraktometr	1

Procesní kapalina PARAMO ERO-SB PLUS

Popis:

PARAMO ERO-SB PLUS tvoří s vodou mléčnou emulzi, je to směs olejových ropných frakcí, emulgátorů, inhibitorů koroze a biocidů proti předčasnému mikrobiálnímu rozkladu. Parametry procesní kapaliny jsou uvedeny v tabulce 2.

Použití:

Tato procesní kapalina se používá jako řezná kapalina při obrábění kovů a jako těžko hořlavá kapalina pro některé nenáročné hydrostatické mechanismy. Doporučená koncentrace je 3-8 % podle podmínek obrábění.

Tabulka 2 Parametry procesní kapaliny PARAMO ERO – SB PLUS [14]

Typické parametry:	ERO-SB Plus
viskozita při 40 °C (mm ² /s)	30-50
PH 5% emulze v dest. vodě při 20 °C	9,3
Stálost emulze 5 % v destilované vodě 48 h	vyhovuje
korozní zkouška Herbert-test 2 % emulze v dest. vodě při 20 °C	
korozní zkouška emulze 5 % obj. stupeň	negativní
faktor pro ruční refraktometr	1

Procesní kapalina PARAMO SK 220

Popis:

Syntetická obráběcí kapalina PARAMO SK 220 je směsí syntetických komponent, vhodných inhibitorů koroze a vody. Vyznačuje se vysokou stálostí a biorezistencí. Koeficient pro refraktometr je 2. Parametry procesní kapaliny jsou uvedeny v tabulce 3.

Použití:

Tato syntetická obráběcí kapalina je určena v koncentraci 2 až 5 % ve vodě pro broušení železných i neželezných kovů.

Tabulka 3 Parametry procesní kapaliny PARAMO SK 220 [14]

Typické parametry:	SK 220
viskozita při 40 °C (mm ² /s)	3,15
pH 5% roztoku v dest. vodě při 20 °C	9,4
hustota při 15 °C (kg/m ³)	1075
bod tuhnutí (°C)	-10
stálost 5% roztoku v destil. vodě 48 hod. ve vodě 3,58 mmol/l 48 hod.	vyhovuje vyhovuje
test na filtračním papíře 5% roztok v tvrdé vodě	negativní
faktor pro ruční refraktometr	2

Procesní kapalina PARAMO LACTIC

Popis:

PARAMO LACTIC je moderní emulgační olej koncipovaný na bázi derivátu kyseliny mléčné, obsahující vybrané ropné oleje, emulgátory, výkonný odpěňovač a inhibitory koroze. S vodou vytváří mikroemulzi s vysokou stálostí, odolností proti mikroorganismům, stabilním pH, pěnivostí, vysokou mazací a chladicí účinností a ochrannou schopností. Plně odpovídá požadavkům na moderní, výkonnou mazací a chladicí kapalinu. Parametry procesní kapaliny jsou uvedeny v tabulce 4.

Použití:

Je to univerzální procesní kapalina, která je vhodná pro všechny běžné operace třískového obrábění železných kovů, barevných kovů, lehkých kovů a jejich slitin. Je vhodná pro jednotlivé stroje i pro centrální systémy. Doporučená koncentrace je 3-10 % dle podmínek obrábění.

Tabulka 4 Parametry procesní kapaliny PARAMO LACTIC [14]

Typické parametry:	PARAMO LACTIC
viskozita při 40 °C (mm ² /s)	22
pH 5% emulze v dest. vodě při 20 °C	9,3
hustota při 15 °C (kg/m ³)	1090
bod tuhnutí (°C)	-6
stálost 5% emulze - destil.voda, 48 h - tvrdá voda mmol/l, 48 h	vyhovuje vyhovuje
test na filtračním papíře, 5% roztok	0
faktor pro ruční refraktometr	1

Procesní kapalina PARAMO EOPS 1030***Popis:***

PARAMO EOPS 1030 tvoří s vodou stabilní mikroemulzi s dobrou ochrannou schopností proti mikrobiálnímu napadení, atmosférické korozi a nízkou pěnivostí. Je to těžko hořlavá kapalina. Parametry této procesní kapaliny jsou uvedeny v tabulce 5.

Použití:

Používá se jako řezná kapalina při obrábění kovových i nekovových materiálů a jako těžko hořlavá kapalina pro nenáročné hydraulické mechanismy. Doporučená koncentrace 3 % až 10 % podle způsobu použití.

Tabulka 5 Parametry procesní kapaliny PARAMO EOPS 1030 [14]

Typické parametry:	EOPS 1030
viskozita při 40 °C (mm ² /s)	74
pH 5% emulze v dest. vodě při 20 °C	9,5
hustota při 15 °C (kg/m ³)	970
faktor pro ruční refraktometr	1,1

Procesní kapalina PARAMO EOPS 2040

Popis:

PARAMO EOPS 2040 tvoří s vodou vysoce stabilní mikroemulzi s obsahem vysokotlaké přísady a 40–ti % ropného oleje. Při aplikaci vyniká výraznou únosností mazacího filmu, smáčecí a oplachovací schopností. Parametry této procesní kapaliny jsou uvedeny v tabulce 6.

Použití:

Používá se jako kapalina při obrábění kovů se zhoršenou nebo velice špatnou obrobiteľností. Vedle běžných operací je vhodná i pro složité operace. Doporučená koncentrace 5-10 % podle podmínek obrábění.

Tabulka 6 Parametry procesní kapaliny PARAMO EOPS 2040 [14]

Typické parametry:	EOPS 2040
viskozita při 40 °C (mm ² /s)	44,7
pH 5% emulze v dest. vodě při 20 °C	max.9,5
faktor pro ruční refraktometr	1,09

3.2.2 Měření koncentrace procesních kapalin

Pro správné provozní vlastnosti procesních kapalin se musí použít vhodná koncentrace. Potřebné koncentrace se dosáhne namícháním dané kapaliny s vhodně upravenou vodou a volí se podle druhu operace a podle množství přídavných látek. Pro přípravu vybraných vodou mísitelných kapalin od firmy Paramo byla zvolena vhodná koncentrace na 4 %.

U některých kapalin bylo nutno vydělit zvolenou koncentraci faktorem, který je uveden u jednotlivých kapalin.

Měření koncentrace se provádí za pomoci ručního refraktometru, viz obrázek 13, a to v následujících krocích:

- namíchaná procesní kapalina se nanese na měřicí část refraktometru ve formě kapiček za pomoci pipety,
- přední stranu refraktometru nasměrujeme na zdroj světla,
- zaostříme okulár tak, aby byla stupnice pro odečtení dobře viditelná,
- odečteme hodnotu koncentrace na stupnici okuláru.



Obrázek 13 Ruční refraktometr [Vastní]

3.3 Použitý materiál

3.3.1 Konstrukční ocel 12 020

Vlastnosti:

Konstrukční ocel k chemicko-tepelnému zpracování, cementování. Ocel se střední pevností v jádře po kalení. Pevnost v tahu R_m [MPa] 550 – 900. Mez kluzu R_e [MPa] 350. Chemické složení této oceli zobrazuje tabulka 7.

Tabulka 7 Složení oceli 12 020 v % [7]

Značka	Chemické složení v %						
	C	Mn	Si	Cr _{max.}	Ni _{max.}	P _{max.}	S _{max.}
12 020	0,13-0,20	0,60-0,90	0,17-0,37	0,25	0,30	0,04	0,04

Použití:

Na méně namáhané strojní součásti silničních motorových vozidel určené k cementování se střední pevností v jádře po kalení např. méně namáhaná ozubená kola, vačkové hřídele, vložky, řetězová kola, pouzdra, vodítka apod. Záchytné zvony a trny pro naftový průmysl. Ve stavu žíhaném na háky jeřábů, výtahů apod. Součásti k cementování lisované z plechu. Ocel není vhodná ke galvanickému pokovování. Svařitelnost zaručená (podle druhu a rozměru polotovaru).

3.3.2 Konstrukční ocel 14 340

Vlastnosti:

Konstrukční ocel (Cr-Al) k nitridování s dobrou tvárností za tepla a obrobitelností. Chemické složení tohoto typu oceli je zobrazeno v tabulce 8.

Tabulka 8 Složení oceli 14 340 v % [7]

Značka	Chemické složení v %								
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Al	P _{max.}	S _{max.}
14 340	0,28-0,38	0,50-0,90	0,17-0,37	1,30-1,90			0,90-1,30	0,035	0,035

Použití:

Vhodná pro nitridované součásti strojů, automobilů a letadlových motorů, u nichž se žádá největší povrchová tvrdost. Optimální průměr pro zušlechťení je 50 mm.

3.3.3 Konstrukční ocel 15 260**Vlastnosti:**

Konstrukční ocel (Mn-Cr) k zušlechťování. Je dobře tvárná za tepla a ve stavu žíhaném na měkko dobře obrobitelná. Chemické složení této oceli zobrazuje tabulka 9.

Tabulka 9 Složení oceli 15 260 v % [7]

Značka	Chemické složení v %						
	C	Mn	Si	Cr	V	P _{max.}	S _{max.}
15 260	0,47-0,55	0,70-1,00	0,17-0,37	0,90-1,20	0,10-0,20	0,035	0,035

Použití:

Vhodná pro velmi namáhané strojní součásti silničních motorových vozidel, čepy, pružiny, hřídele a vřetena, poloosy a pístnice. Svařitelnost obtížná.

3.3.4 Nástrojová ocel 19 436**Vlastnosti:**

Vysokolegovaná chromová ocel ke kalení v oleji a na vzduchu, s velkou prokalitelností a odolností proti opotřebení a nižší houževnatostí, dobře tvárná za tepla, dobře obrobitelná. Chemické složení této oceli zobrazuje tabulka 10.

Tabulka 10 Složení oceli 19 436 v % [7]

Značka	Chemické složení v %						
	C	Mn	Si	Cr	Ni _{max.}	P _{max.}	S _{max.}
19 436	1,80-2,05	0,20-0,45	0,20-0,45	11,0-12,5	0,5	0,03	0,035

Použití:

Používá se na výrobu nástrojů na stříhání za studena, na nástroje pro tváření za studena, pro řezné nástroje, jako jsou například nože a frézy pro obrábění kovových materiálů a i na výrobu forem pro tváření plastů.

3.4 Popis stroje, nástrojů a měřicího zařízení

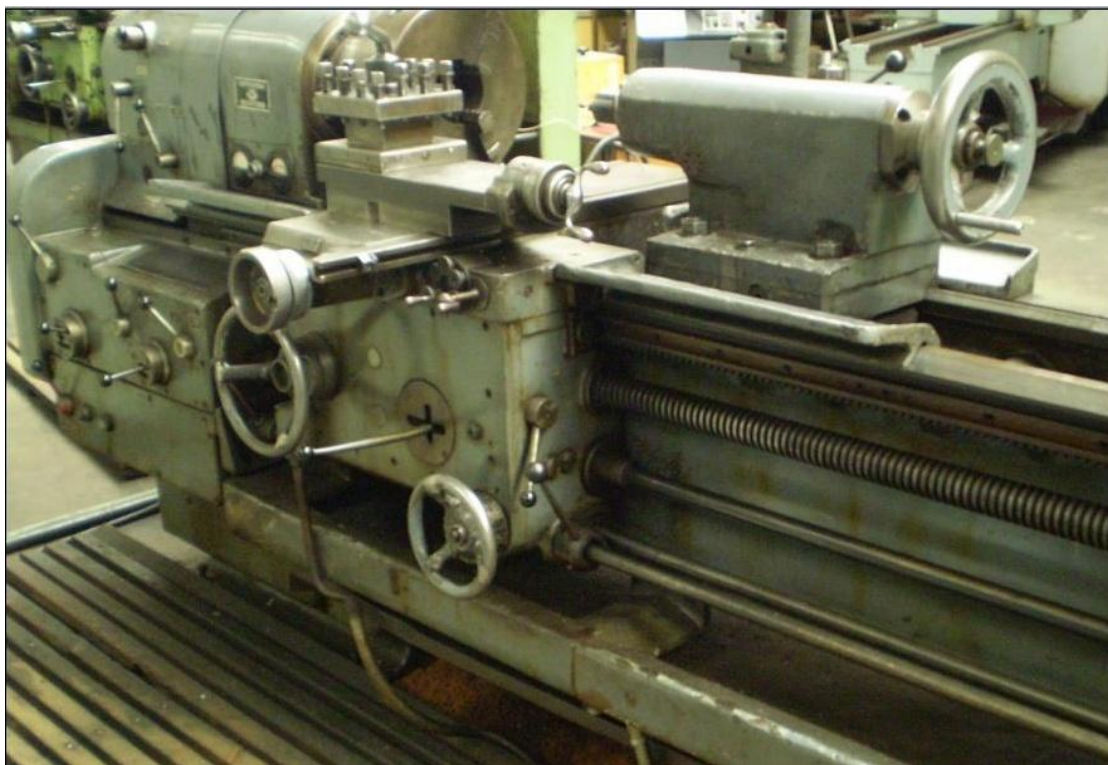
Obrábění materiálu bylo provedeno na univerzálním hrotovém soustruhu SU 50, s použitím těchto nástrojů:

- soustružnický nůž vnější pro VBD,
- vyměnitelné břitové destičky TPUN S30.

Praktická část testování byla prováděna na měřicím přístroji Mitutoyo SV-2000 prostřednictvím dotykové metody v laboratoři KOM FS TUL.

Soustruh SU-50

Zkušební vzorky byly obrobeny na soustruhu SU-50, který je zobrazen na obrázku 14.



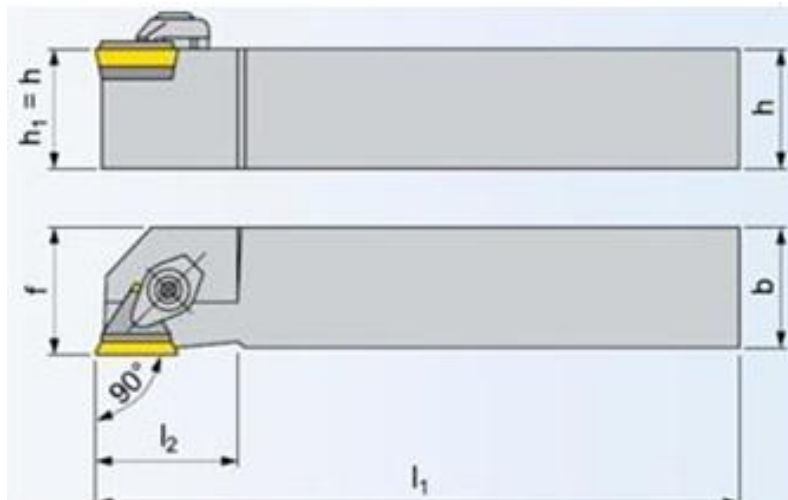
Obrázek 14 Soustruh SU-50 [Vlastní]

Základní technické parametry soustruhu SU-50:

- Točná délka: 2000 [mm]
- Rozsah otáček: 11-1400 [ot/min]

Soustružnický nůž vnější pro VBD

Pro obrábění vzorků byl použit nástroj soustružnický nůž vnější pro použití vyměnitelných břitových destiček od firmy Pramet Tools, s.r.o



Obrázek 15 Soustružnický nůž vnější od firmy Pramet Tools, s.r.o [15]

Základní rozměry nože:

- $b = 20 \text{ mm}$; $h=h_1 = 20 \text{ mm}$; $f = 20,5 \text{ mm}$; $l_1 = 125 \text{ mm}$, $l_{2\max} = 32 \text{ mm}$; úhel nastavení = 90°

Vyměnitelná břitová destička

Pro provedení experimentu byly použity vyměnitelné břitové destičky od firmy Pramet. Byly zvoleny vyměnitelné břitové destičky ISO TPUN 160304 z materiálu S30, kde S značí druh materiálu, ze kterého je břitová destička vyrobena. Konkrétně S značí materiál s kubickými karbidy. Vyznačují se geometrií s nulovým úhlem čela. Tyto destičky jsou prioritně určeny pro soustružení. Dodávají se ve velikostech 1103, 1603, 2204, pro experiment se zvolila velikost 1103. Parametry břitové destičky jsou uvedeny na obrázku 16.



Obrázek 16 Materiál břitové destičky TPUN 160304 S30 [15]

Doporučené použití břitových destiček TPUN 160304 S30 je následující:

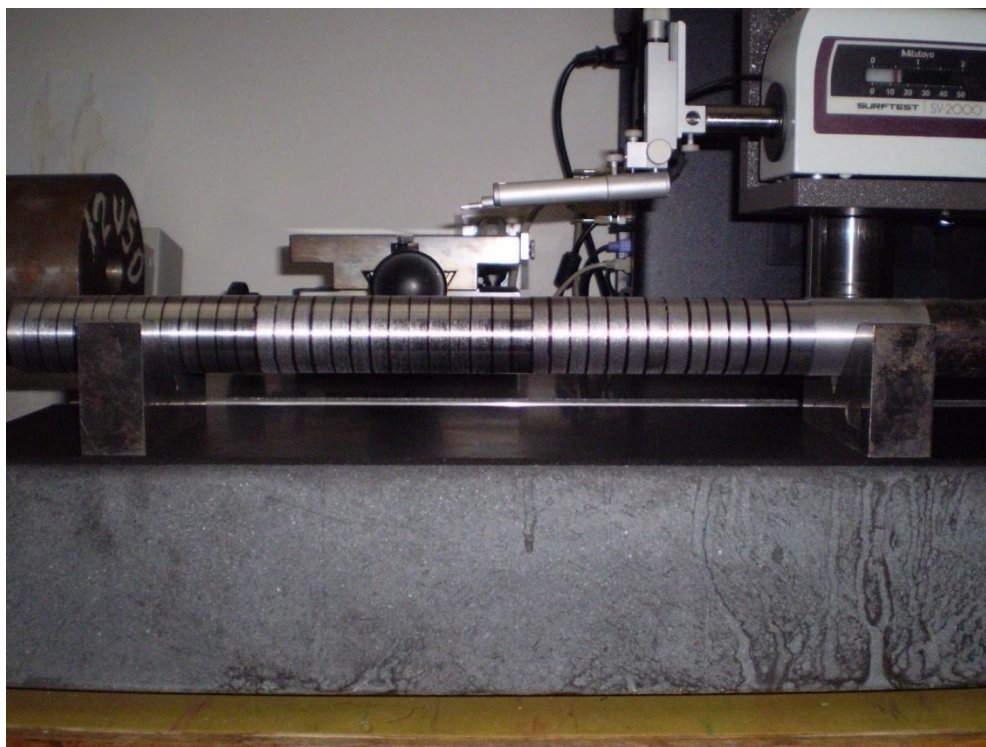
- vhodné pro obrábění materiálů skupiny P, kde P je označení konstrukčních ocelí,
- použití pro střední a vyšší posuvy,
- nízké řezné rychlosti,
- nestabilní záběrové podmínky.

TPUN					
Velikost Velkosť	(l)	d	s	r_c	
1103	11,0	6,35	3,18	0,4	
1603	16,5	9,53	3,18	0,4	
2204	22,0	12,70	4,76	0,8	

Obrázek 17 Parametry břitové destičky TPUN 160304 S30 [15]

3.4.1 Měření dotykovou metodou

Pro měření drsnosti povrchu byla zvolena dotyková metoda na měřicím přístroji Mitutoyo SV-2000 v laboratoři KOM FS TUL. Naměřené hodnoty byly dále zpracovány v programu MS Excel ve formě grafů a tabulek. Měření je zobrazeno na obrázku 18.



Obrázek 18 Měření drsnosti na přístroji Mitutoyo SV-2000 [Vlastní]

4 Hodnocení obrobených součástí a porovnání jednotlivých procesních kapalin

Naměřené hodnoty byly vyhodnoceny v programu Surfpak a následně zpracovány v tabulkovém procesoru MS Excel. Hodnoty byly následně zaznamenány do tabulek, ze kterých byly sestrojeny příslušné grafy. Záznamy naměřených hodnot drsnosti jsou uvedeny v přílohách této bakalářské práce. Na následujících stranách jsou zobrazeny grafy s výsledky měření.

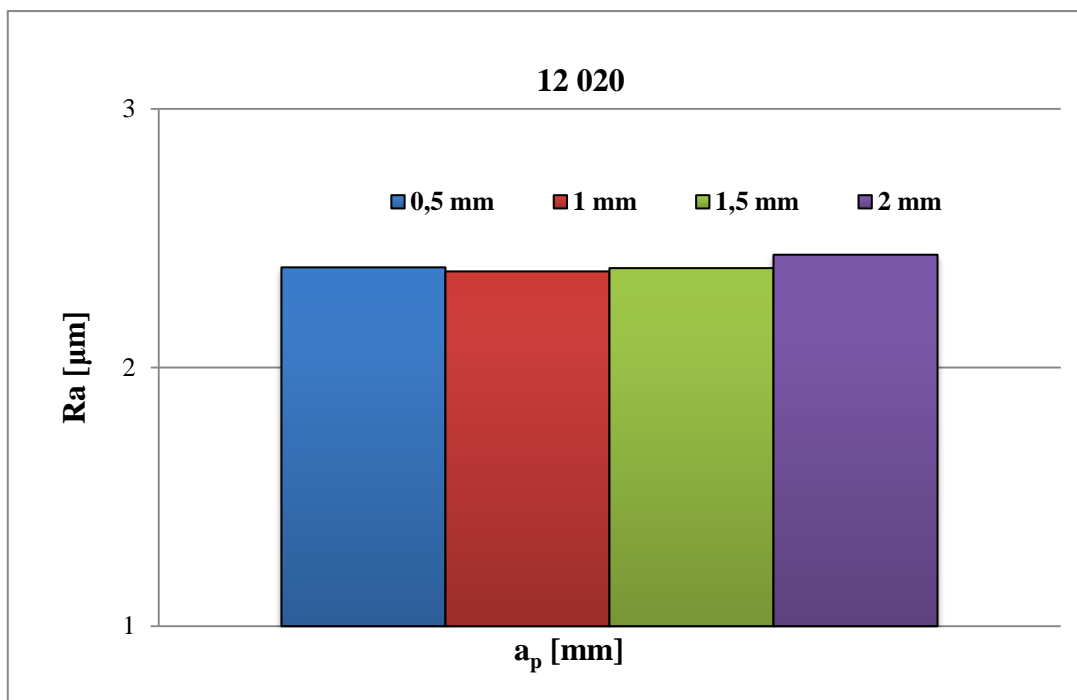
4.1 Volba optimálních řezných podmínek pro testování vlivu procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při soustružení konstrukčních ocelí

V této části práce bylo nutné zvolit optimální řezné podmínky pro následné porovnání jednotlivých procesních kapalin. Bylo nutné určit velikosti hloubky řezu a_p , řezné rychlosti v_c a posuvu f . Za těchto zvolených podmínek se mohlo přejít k druhé části experimentu, tj. k porovnání jednotlivých procesních kapalin.

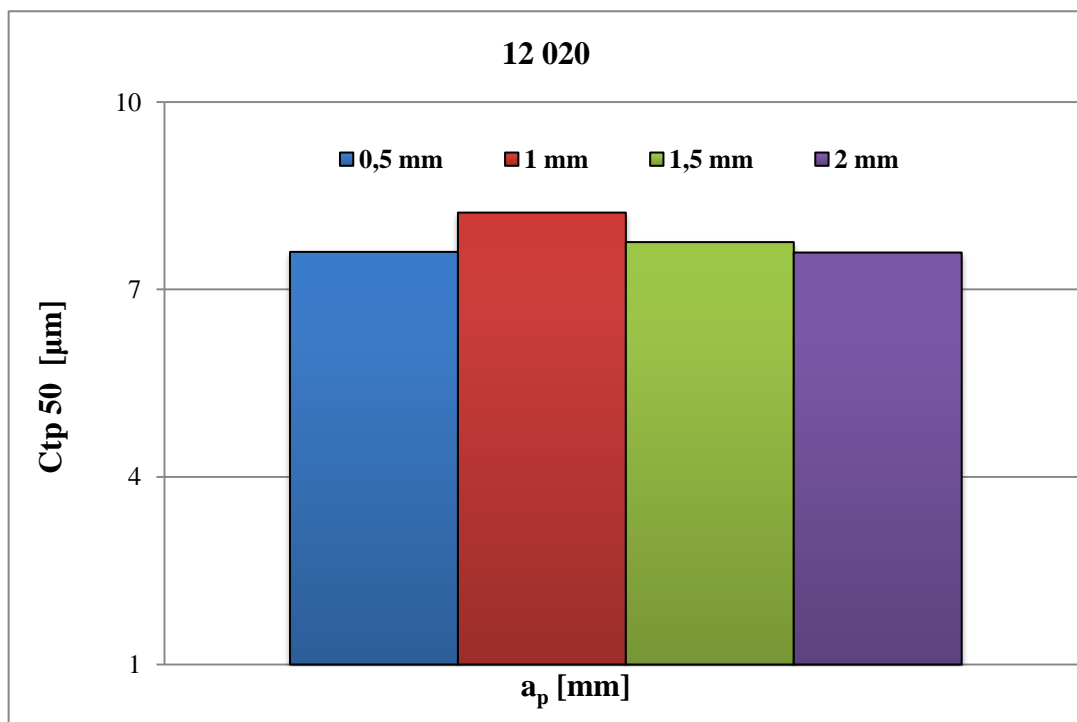
4.1.1 Vliv hloubky řezu a_p [mm] na parametr drsnosti povrchu a nosný podíl

V první fázi této části práce se testoval vliv hloubky řezu a_p na parametr drsnosti povrchu. Pro porovnání výsledků byly naměřeny hodnoty nosného podílu. Pro testování se vybraly čtyři hloubky řezu o velikosti: 0,5 mm; 1 mm; 1,5 mm a 2 mm. Tyto zvolené hloubky se testovaly postupně na dvou vybraných vzorcích oceli (ocel 12 020 a 14 340). Testování proběhlo bez použití procesních kapalin, pouze na vzduchu. Ukázalo se, že pro zjištění výsledků je testování dostačující pouze pro dva druhy materiálu. Při vyvození výsledků a následovného zvolení optimální hloubky řezu se přihlíželo na zvolení co nejmenší hloubky řezu z důvodu úspory materiálu.

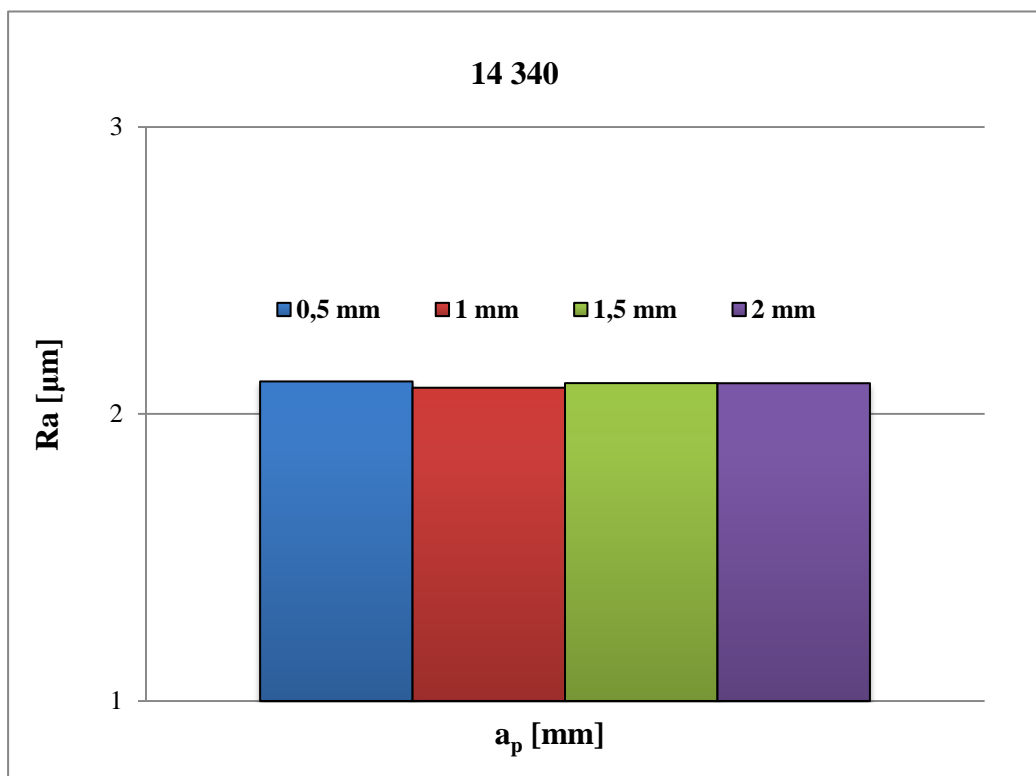
Vliv hloubky řezu a_p [mm] na parametr Ra a nosný podíl C_{tp} pro jednotlivé typy oceli zobrazují následující grafy 1 až 4.



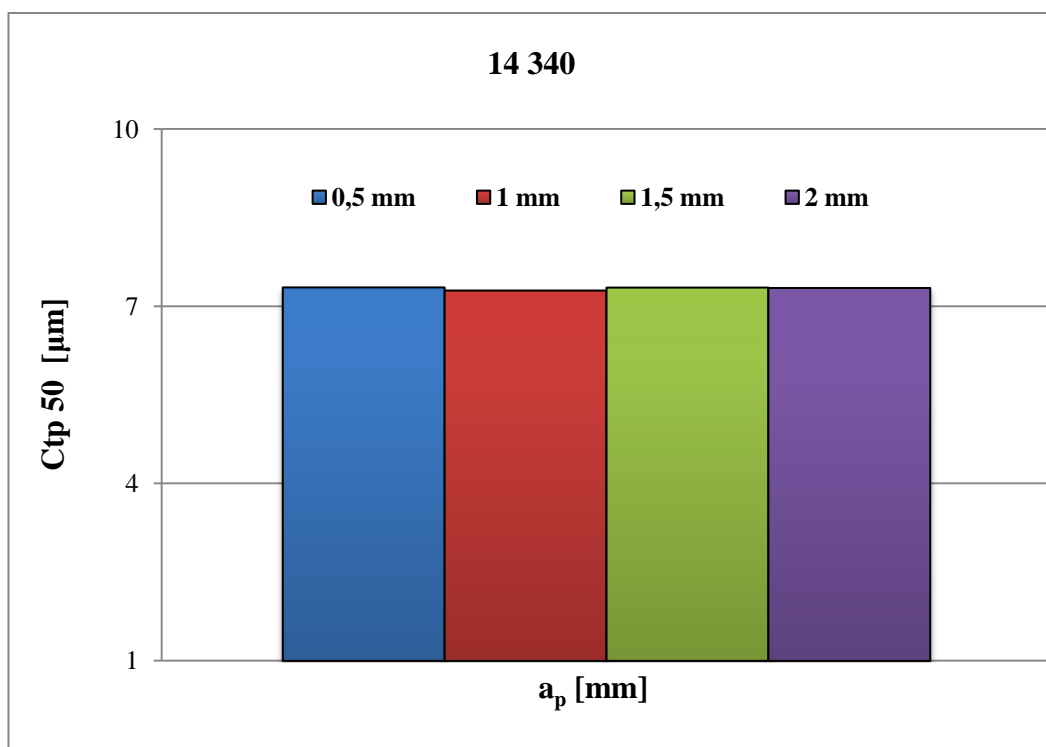
Graf 1 Vliv hloubky řezu a_p [mm] na parametr drsnosti povrchu pro ocel 12 020



Graf 2 Vliv hloubky řezu a_p [mm] na nosný podíl pro ocel 12 020



Graf 3 Vliv hloubky řezu a_p [mm] na parametr drsnosti povrchu pro ocel 14 340



Graf 4 Vliv hloubky řezu a_p [mm] na nosný podíl pro ocel 14 340

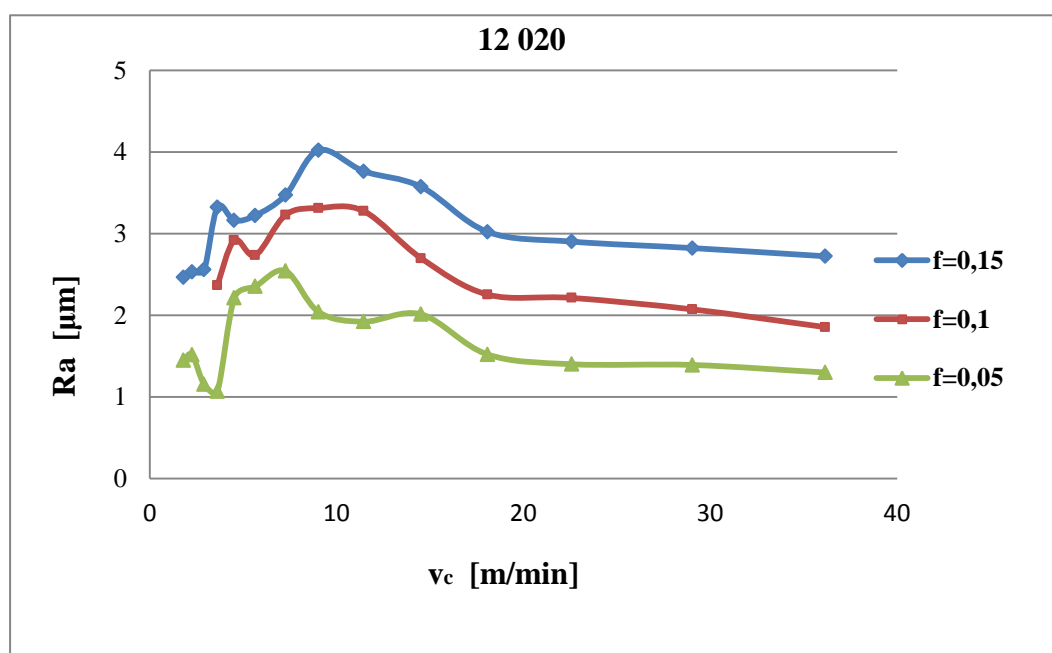
Z grafů je zřejmé že hloubka řezu a_p nemá výrazný vliv na parametr drsnosti povrchu Ra a nosný podíl C_{tp} pro vybrané druhy ocelí. Naměřené hodnoty se pohybovaly téměř v konstantní míře, až na malé odchylky. Nízké odchylky naměřených hodnot byly s největší pravděpodobností způsobeny chybou při měření, nebo opotřebením vyměnitelné břitové destičky. Test ostatních materiálů není tedy nutné provádět, protože by se s největší pravděpodobností došlo ke shodným výsledkům naměřených hodnot.

Pro následující experimenty byla tedy zvolena nejmenší hloubka řezu $a_p = 0,5 \text{ mm}$. Jedním z důvodů volby této hodnoty hloubky řezu je úspora materiálu a menší opotřebení břitových destiček.

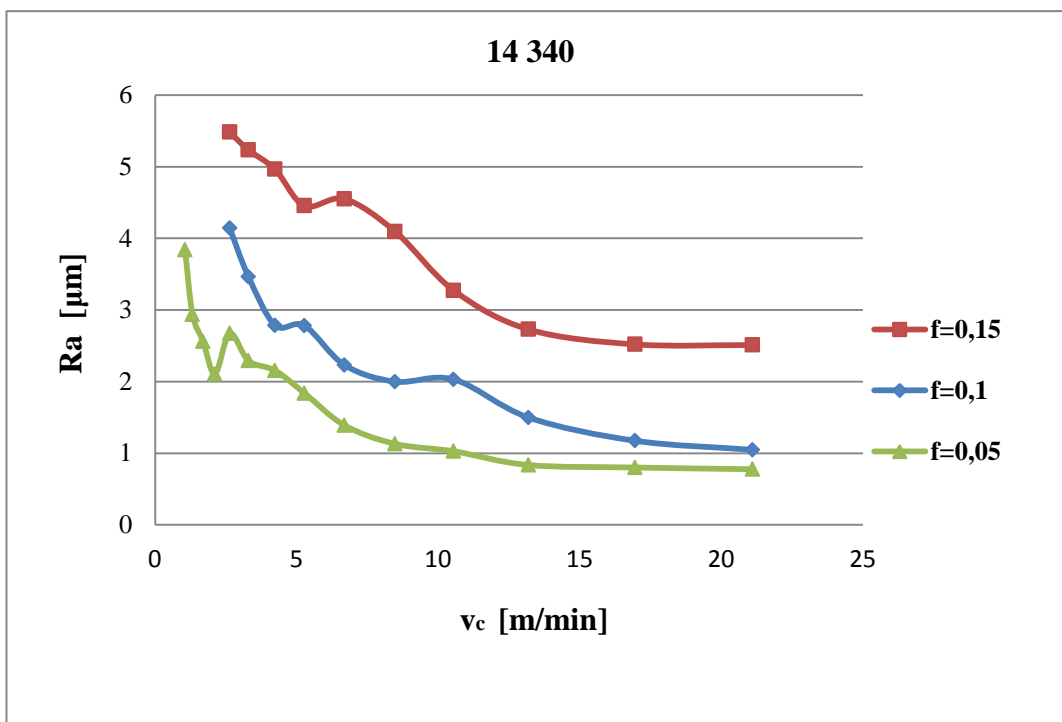
4.1.2 Vliv řezné rychlosti na kvalitu povrchu bez použití kapalin

Pro porovnání jednotlivých procesních kapalin bylo zapotřebí určit vhodnou řeznou rychlost. Řezná rychlost byla testována v rozsahu $v_c = 1,5 - 52 \text{ m/min}$, při zvoleném posuvu v rozsahu $f = 0,05 - 0,15 \text{ mm/ot}$. Test byl proveden bez použití procesních kapalin, pouze na vzduchu. Z výsledků bylo nutné určit hodnotu, při které vykazuje řezná rychlost velké výkyvy drsnosti a dochází k zvýšené tvorbě nárůstu.

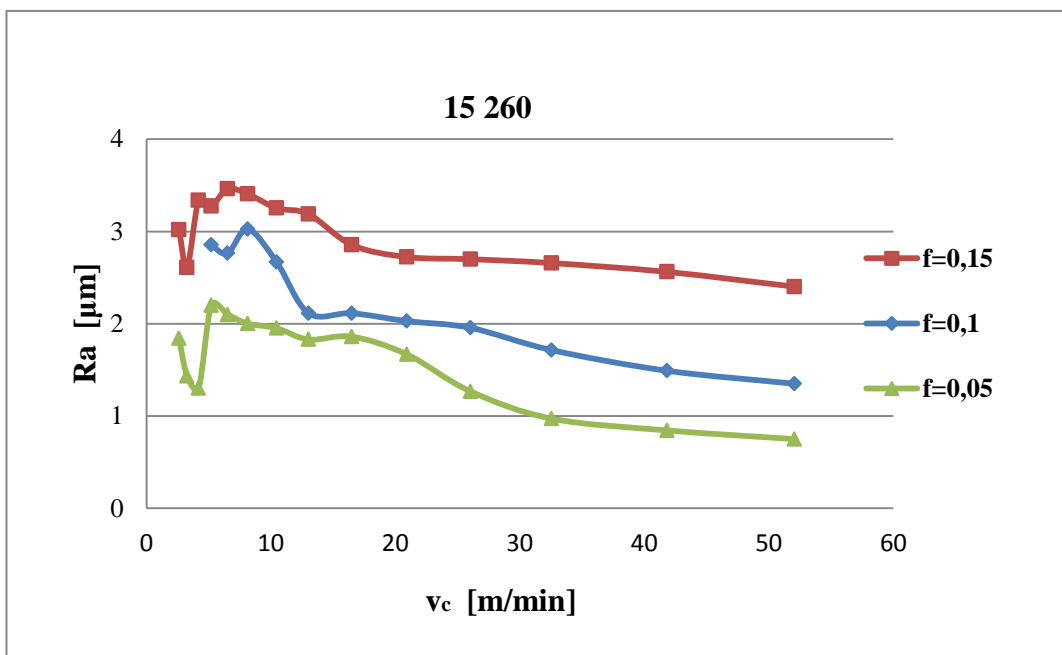
Vliv řezné rychlosti na kvalitu povrchu bez použití kapalin pro jednotlivé typy oceli zobrazují následující grafy 5 až 8.



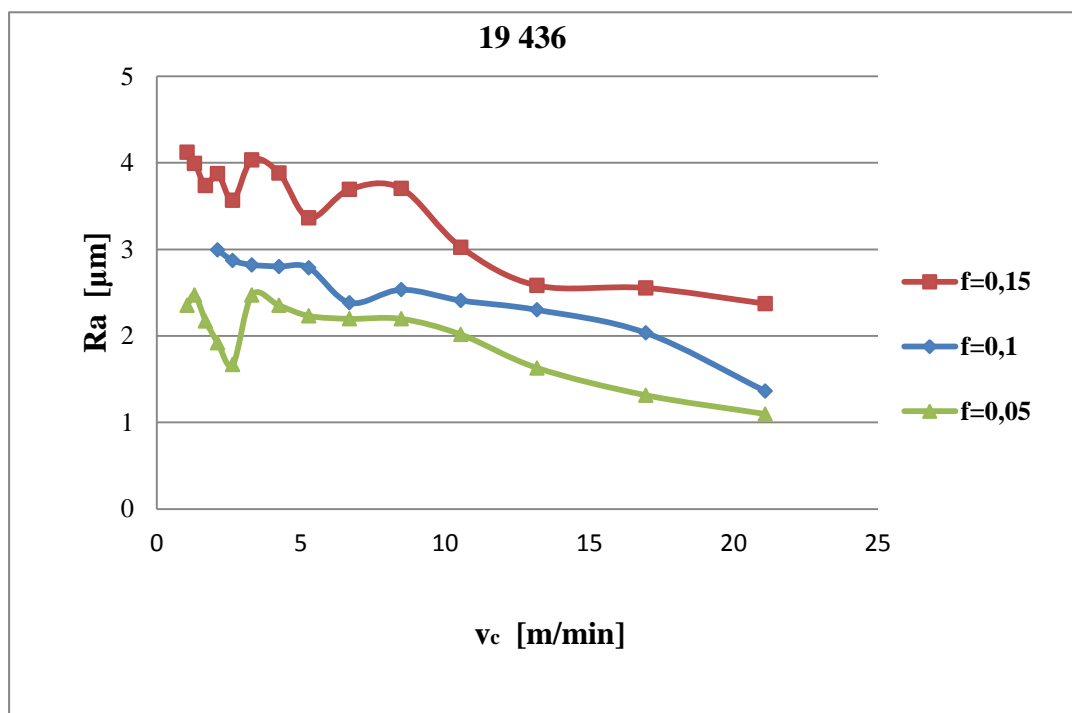
Graf 5 Vliv řezné rychlosti na parametr drsnosti povrchu bez použití kapalin pro ocel 12 020



Graf 6 Vliv řezné rychlosti na parametr drsnosti povrchu bez použití kapalin pro ocel 14 320



Graf 7 Vliv řezné rychlosti na parametr drsnosti povrchu bez použití kapalin pro ocel 15 260



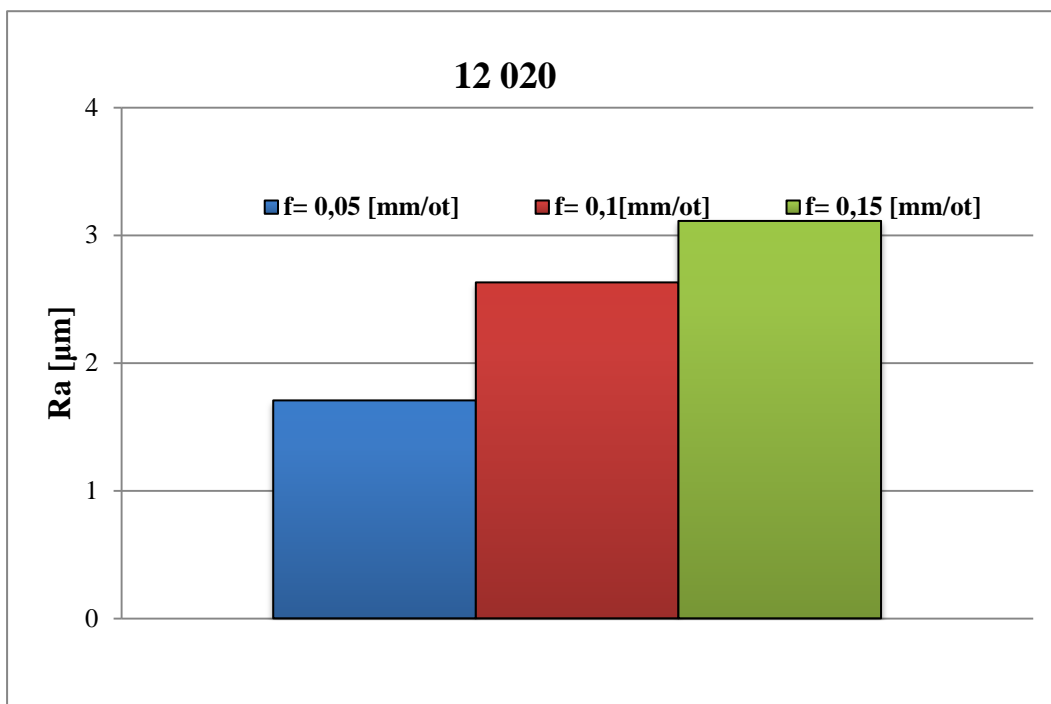
Graf 8 Vliv řezné rychlosti na parametr drsnosti povrchu bez použití kapalin pro ocel 19 436

Z grafů lze usoudit, že k největší tvorbě nárůstku a tedy největším výkyvům drsnosti dochází při řezné rychlosti v rozsahu $v_c = 3-5 \text{ m/min}$. Pro test kapalin je tedy vhodné použít řeznou rychlost v_c v rozsahu $3-5 \text{ m/min}$, protože zde budou nejvíce patrné rozdíly jednotlivých procesních kapalin.

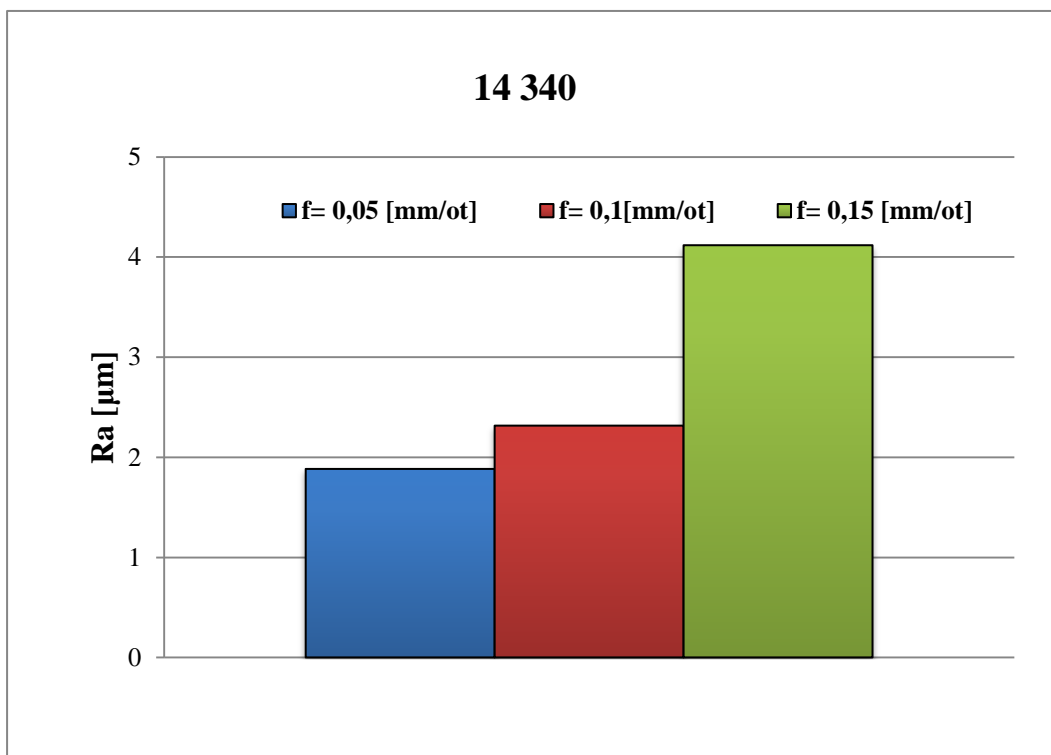
4.1.3 Vliv posuvu f [mm/ot] na parametr drsnosti povrchu

V poslední části tohoto experimentu byl testován vliv posuvu na parametr drsnosti povrchu. Pro testování se zvolily tři druhy posuvů v rozsahu $f = 0,05$ až $0,15 \text{ mm/ot}$. Jednotlivé rozsahy se testovaly na čtyřech druzích ocelí (12 020, 14 340, 15260 a 19 436). Testování bylo provedeno bez použití kapalin, pouze na vzduchu. Po dokončení experimentu bylo nutné určit vhodný posuv, při kterém má význam testovat jednotlivé procesní kapaliny.

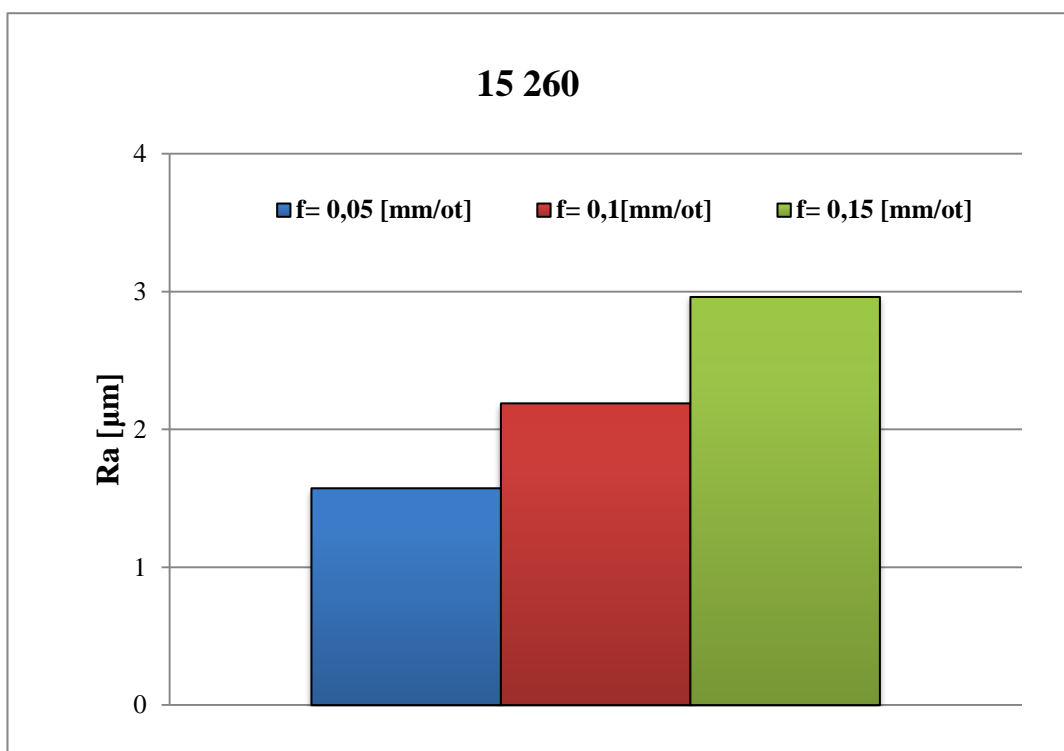
Vliv posuvu f [mm/ot] na parametr Ra pro jednotlivé druhy oceli zobrazují následující grafy 9 až 12.



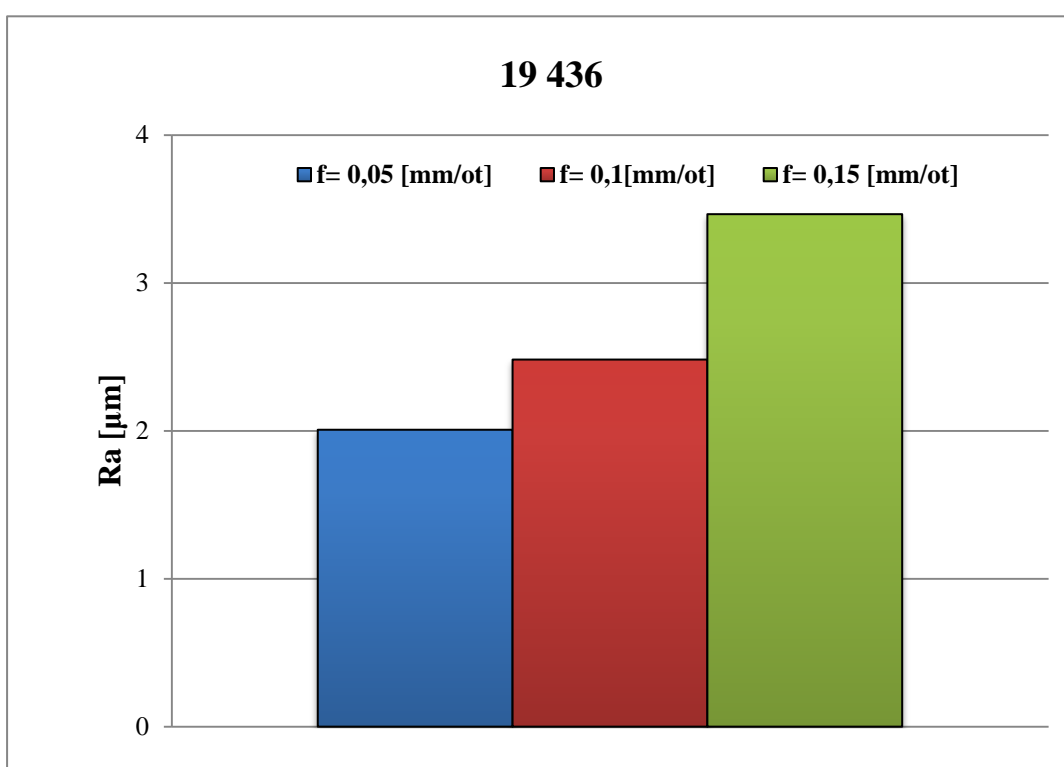
Graf 9 Vliv posuvu f [mm/ot] na parametr drsnosti povrchu pro ocel 12 020



Graf 10 Vliv posuvu f [mm/ot] na parametr drsnosti povrchu pro ocel 14 340



Graf 11 Vliv posuvu f [mm/ot] na parametr drsnosti povrchu pro ocel 15 260



Graf 12 Vliv posuvu f [mm/ot] na parametr drsnosti povrchu pro ocel 19 436

Z grafů je patrné, že největších hodnot parametru drsnosti povrchu bylo dosaženo při použití posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$, u kterého docházelo pravděpodobně k největší tvorbě nárůstu. Nejmenší hodnoty parametru drsnosti povrchu se dosáhlo při posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$, zde docházelo pravděpodobně k nízké tvorbě nárůstu.

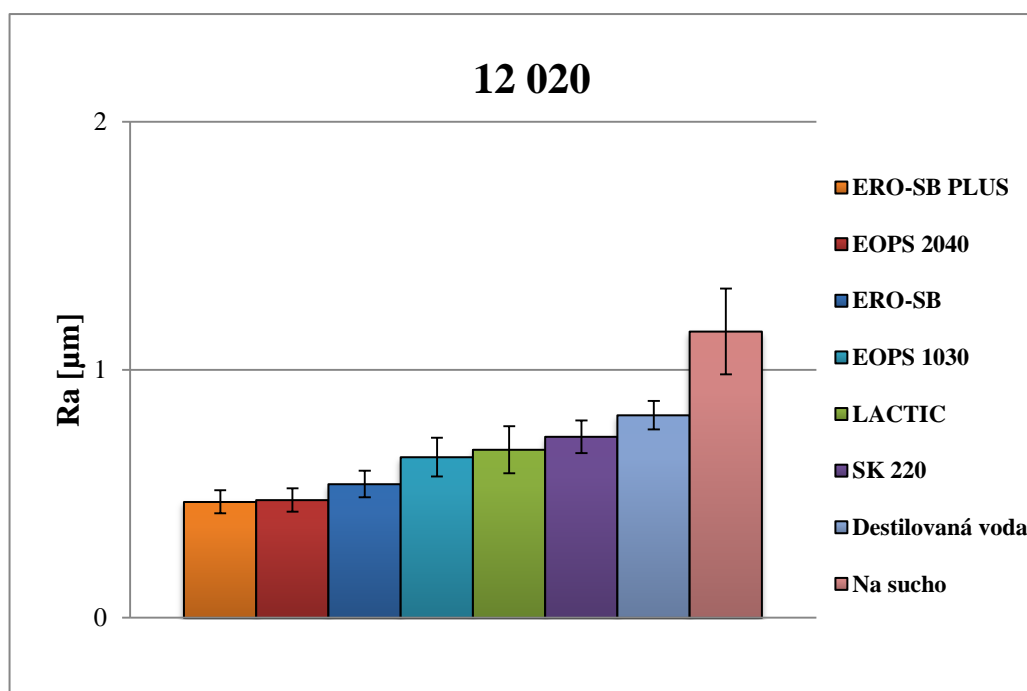
Při Posuvu $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ je tvorba nárůstu pro následující experiment nepodstatná. Pro testy kapalin byly tedy zvoleny posuvy s největší a nejmenší výchytkou parametru drsnosti povrchu, protože zde je nejvhodnější testovat procesní kapaliny a dojít k vhodným výsledkům.

4.2 Porovnávání jednotlivých procesních kapalin

V druhé a hlavní části této bakalářské práce bylo nutné porovnat jednotlivé procesní kapaliny. Pro vhodnější porovnání se měření provedlo na zkušebních vzorcích při soustružení za „sucha“ a za použití destilované vody. Jednotlivé výsledky jsou ve formě grafů a tabulek uvedeny v následující části této bakalářské práce. Záznamy naměřených hodnot parametru Ra jsou přiloženy v přílohách této bakalářské práce.

4.2.1 Porovnání jednotlivých procesních kapalin při posuvu $f = 0,05$ mm/ot, řezné rychlosti $v_c = 3-5$ m/min a hloubce záběru $a_p = 0,5$ mm

Číselné hodnoty naměřených parametrů Ra pro ocel 12 020 jsou uvedeny v tabulce 11. Graf 13 zobrazuje vzestupně velikost parametru Ra při použití posuvu $f = 0,05$ mm/ot pro ocel 12 020.



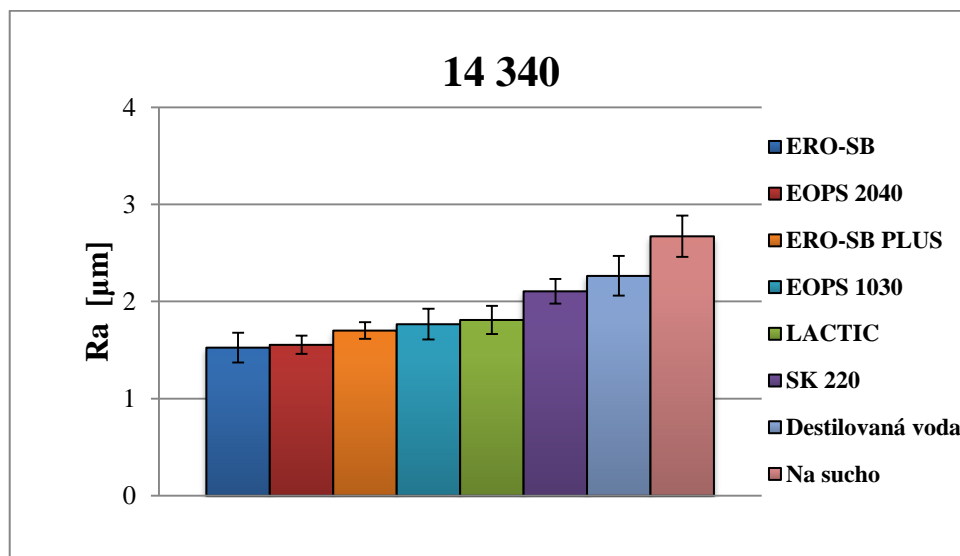
Graf 13 Vliv jednotlivých procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při posuvu $f = 0,05$ mm/ot pro ocel 12 020

Tabulka 11 Zlepšení parametru drsnosti povrchu u jednotlivých procesních kapalin při posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$ pro ocel 12 020

Zlepšení povrchu pro ocel 12 020 při posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$		
Procesní kapalina	Zlepšení Ra (v %)	Ø Ra (μm)
Na sucho	—	1,1546
Destilovaná voda	27	0,8484
SK 220	37	0,7303
LACTIC	41	0,678
EOPS 1030	44	0,648
ERO-SB	53	0,5392
EOPS 2040	59	0,475
ERO-SB PLUS	60	0,4675

Z grafu a tabulky je zřejmé, že největšího účinku zlepšení parametru Ra pro ocel 12 020 se dosáhlo při použití procesní kapaliny Paramo ERO-SB PLUS. Tedy hodnota parametru drsnosti se při použití posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$ průměrně zlepšila o 60% oproti hodnotě naměřené při soustružení za „sucha“. Nejhuře se umístila procesní kapalina Paramo SK 220, hodnoty parametru Ra dosahovaly průměrného zlepšení o 37% oproti soustružení za „sucha“.

Číselné hodnoty naměřených parametrů Ra pro ocel 14 340 jsou uvedeny v tabulce 12. Graf 14 zobrazuje vzestupně velikost parametru Ra při použití posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$ pro ocel 14 340.



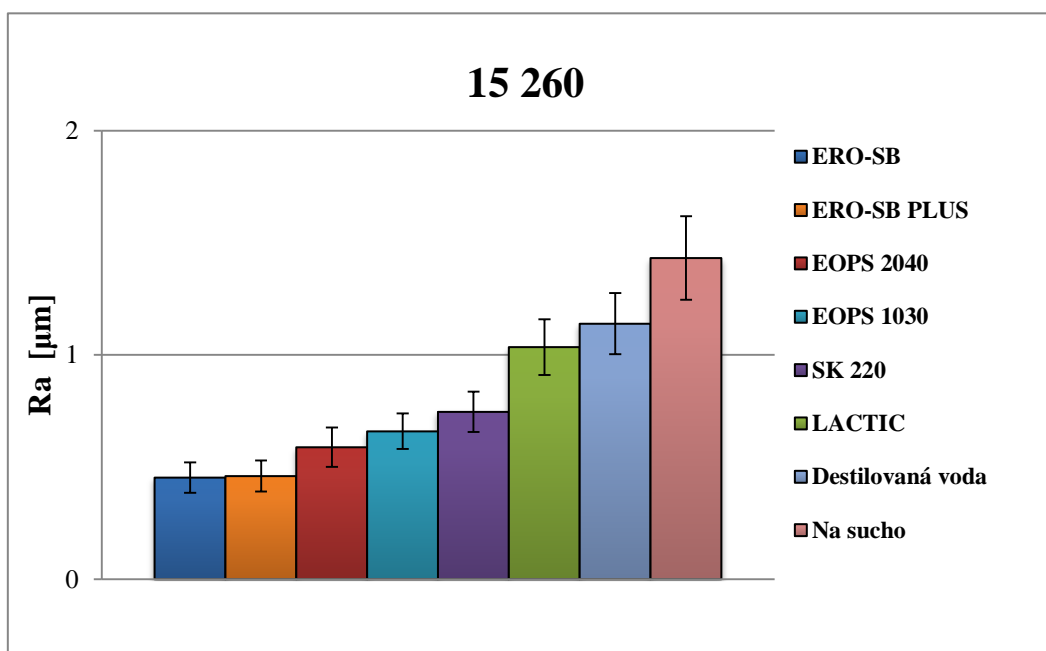
Graf 14 Vliv jednotlivých procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$ pro ocel 14 340

Tabulka 12 Zlepšení parametru drsnosti povrchu u jednotlivých procesních kapalin při posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$ pro ocel 14 340

Zlepšení povrchu pro ocel 14 340 při posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$		
Procesní kapalina	Zlepšení Ra (v %)	Ø Ra (μm)
Na sucho	—	2,6719
Destilovaná voda	17	2,2069
SK 220	21	2,1055
LACTIC	32	1,8104
EOPS 1030	34	1,7666
ERO-SB PLUS	36	1,7011
EOPS 2040	41	1,5543
ERO-SB	43	1,5255

Z grafu a tabulky pro ocel 14 340 je zřejmé, že při použití posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$ parametr Ra dosáhl procentuálně největšího zlepšení o 43% oproti soustružení bez použití procesních kapalin. Toto zlepšení bylo naměřeno při použití procesní kapaliny Paramo ERO-SB. Nejhorší kvalita povrchu se projevila v případě použití procesní kapaliny Paramo SK 220, zde průměrné hodnoty parametru Ra dosahovaly zlepšení o 17% oproti soustružení bez použití procesních kapalin.

Číselné hodnoty naměřených parametrů Ra pro ocel 15 260 jsou uvedeny v tabulce 13. Graf 15 zobrazuje vzestupně velikost parametru Ra při použití posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$ pro ocel 15 260.



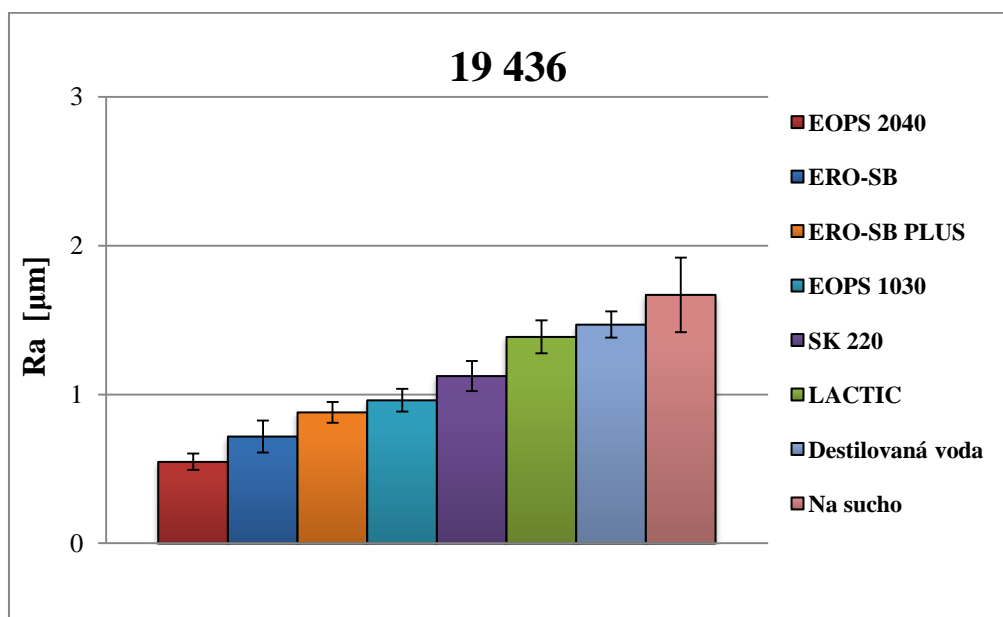
Graf 15 Vliv jednotlivých procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$ pro ocel 15 260

Tabulka 13 Zlepšení parametru drsnosti povrchu u jednotlivých procesních kapalin při posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$ pro ocel 15 260

Zlepšení povrchu pro ocel 15 260 při posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$		
Procesní kapalina	Zlepšení Ra (v %)	Ø Ra (μm)
Na sucho	—	1,4319
Destilovaná voda	18	1,1804
LACTIC	28	1,0348
SK 220	48	0,746
EOPS 1030	54	0,6591
EOPS 2040	59	0,5882
ERO-SB PLUS	68	0,4596
ERO-SB	69	0,4529

Výsledky měření ukázaly, že při obrábění materiálu 15 260 za použití posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$ bylo dosaženo nejlepší kvality povrchu procesní kapalinou Paramo ERO-SB. Hodnota parametru Ra se zlepšila o 69% proti obrábění za „sucha“. Na posledním místě se umístila procesní kapalina Paramo LACTIC, která vykazovala zlepšení Ra o 18%.

Číselné hodnoty naměřených parametrů Ra pro ocel 19 436 jsou uvedeny v tabulce 14. Graf 16 zobrazuje vzestupně velikost parametru Ra při použití posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$ pro ocel 19 436.



Graf 16 Vliv jednotlivých procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$ pro ocel 19 436

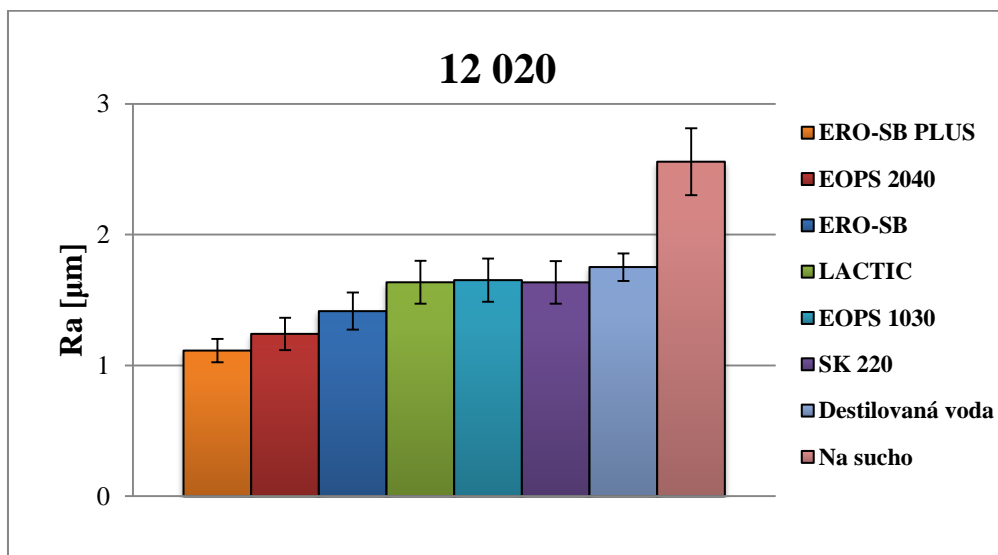
Tabulka 14 Zlepšení parametru drsnosti povrchu u jednotlivých procesních kapalin při posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$ pro ocel 19 436

Zlepšení povrchu pro ocel 19 436 při posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$		
Procesní kapalina	Zlepšení Ra (v %)	Ø Ra (μm)
Na sucho	—	1,67011
Destilovaná voda	12	1,4758
LACTIC	17	1,3874
SK 220	33	1,1244
EOPS 1030	42	0,9614
ERO-SB PLUS	47	0,8803
ERO-SB	57	0,718
EOPS 2040	67	0,5476

Poslední test při posuvu $f = 0,05 \text{ mm/ot}$ prokázal, že při soustružení vzorku konstrukční oceli 19 436 se dosáhlo zlepšení drsnosti povrchu procesní kapalinou EOPS 2040 a to o 67% oproti soustružení bez použití kapaliny. Nejhorší drsnost prokazovala procesní kapalina Paramo LACTIC, kde se zlepšení pohybovalo kolem 17% oproti soustružení bez použití kapaliny.

4.2.2 Porovnání jednotlivých procesních kapalin při posuvu $f = 0,15$ mm/ot, řezné rychlosti $v_c = 3-5$ m/min a hloubce záběru $a_p = 0,5$ mm

Graf 17 zobrazuje vzestupně velikost parametru Ra při použití posuvu $f = 0,15$ mm/ot pro ocel 12 020. Číselné hodnoty naměřených parametrů Ra jsou uvedeny v tabulce 15.



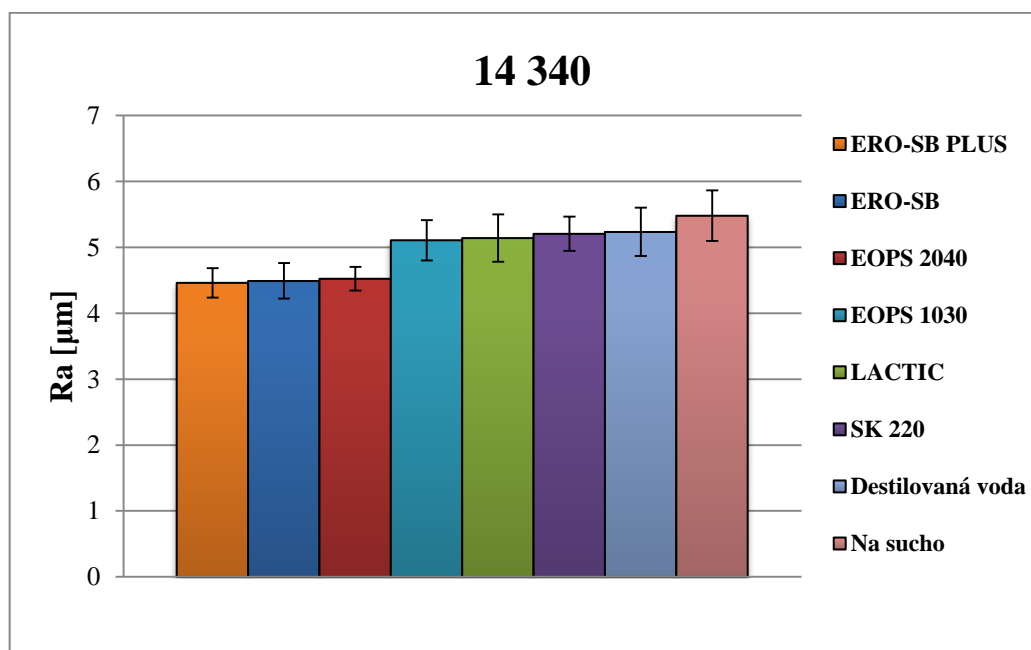
Graf 17 Vliv jednotlivých procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při posuvu $f = 0,15$ mm/ot pro ocel 12 020

Tabulka 15 Zlepšení parametru drsnosti povrchu u jednotlivých procesních kapalin při posuvu $f = 0,15$ mm/ot pro ocel 12 020

Zlepšení povrchu pro ocel 12 020 při posuvu $f = 0,15$ mm/ot		
Procesní kapalina	Zlepšení Ra (v %)	Ø Ra (μm)
Na sucho	—	2,5574
Destilovaná voda	33	1,7202
EOPS 1030	35	1,652
LACTIC	36	1,6356
SK 220	36,5	1,635
ERO-SB	45	1,4149
EOPS 2040	52	1,2412
ERO-SB PLUS	56	1,1135

Soustružením vzorku oceli 12 020 při posuvu $f = 0,15$ mm/ot se dosáhlo nejlepší drsnosti povrchu za použití procesní kapaliny Paramo ERO-SB PLUS. Rozdíl zlepšení drsnosti oproti soustružení za „sucha“ zde činil 56%. Nejmenší rozdíl drsnosti povrchu byl naměřen při použití procesní kapaliny Paramo EOPS 1030, a to o 35%.

Číselné hodnoty naměřených parametrů Ra pro ocel 14 340 jsou uvedeny v tabulce 16. Graf 13 zobrazuje vzestupně velikost parametru Ra při použití posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$ pro ocel 14 340.



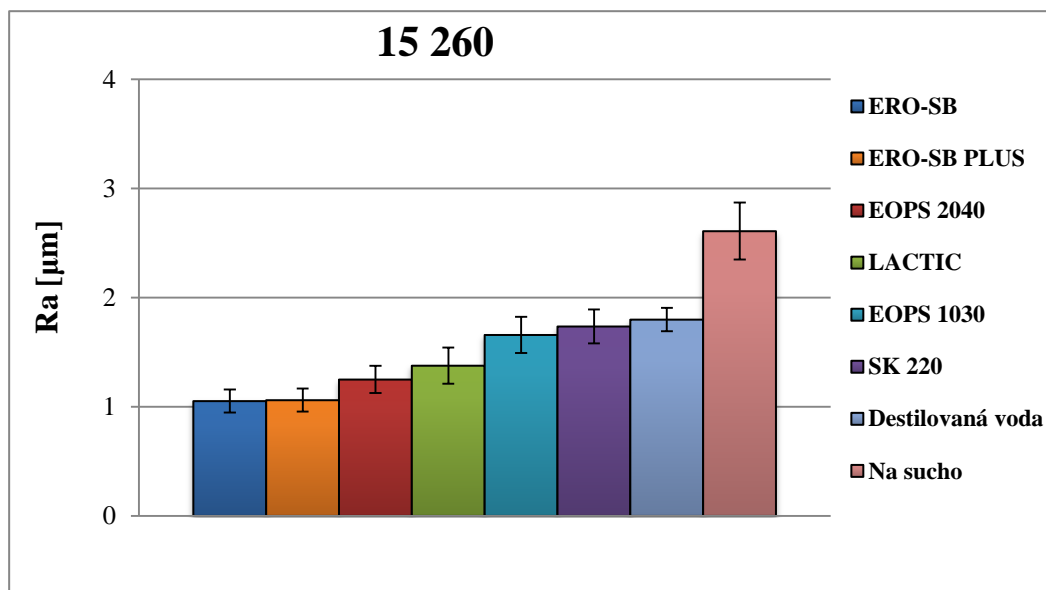
Graf 18 Vliv jednotlivých procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$ pro ocel 14 340

Tabulka 16 Zlepšení parametru drsnosti povrchu u jednotlivých procesních kapalin při posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$ pro ocel 14 340

Zlepšení povrchu pro ocel 14 340 při posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$		
Procesní kapalina	Zlepšení Ra (v %)	$\bar{O} Ra$ (μm)
Na sucho	—	5,4812
Destilovaná voda	5	5,2349
SK 220	5,5	5,2069
LACTIC	6	5,1423
EOPS 1030	7	5,1091
EOPS 2040	17	4,5248
ERO-SB	18	4,4908
ERO-SB PLUS	19	4,4632

Z naměřených výsledků pro ocel 14 340 při daném posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$ se dosáhlo nejlepšího zlepšení procesní kapalinou Paramo ERO-SB PLUS o pouhých 19%, zde docházelo k nejmenší tvorbě nárůstku. Procesní kapalina Paramo SK 220 prokázala zlepšení o pouhých 5,5%, zde také docházelo k nízké tvorbě nárůstku.

Číselné hodnoty naměřených parametrů Ra pro ocel 15 260 jsou uvedeny v tabulce 17. Graf 19 zobrazuje vzestupně velikost parametru Ra při použití posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$ pro ocel 15 260.



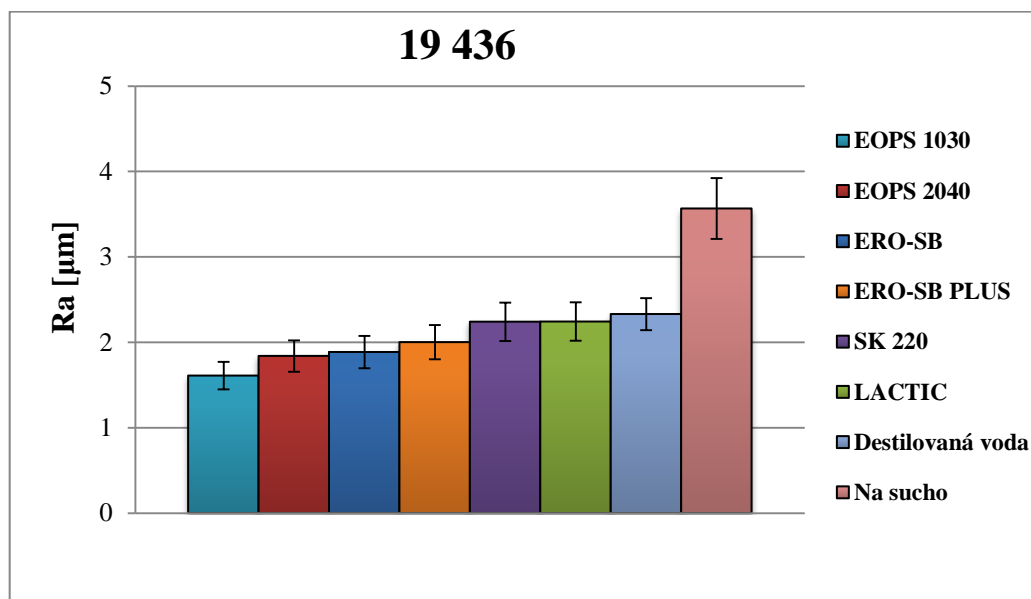
Graf 19 Vliv jednotlivých procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$ pro ocel 15 260

Tabulka 17 Zlepšení parametru drsnosti povrchu u jednotlivých procesních kapalin při posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$ pro ocel 15 260

Zlepšení povrchu pro ocel 15 260 při posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$		
Procesní kapalina	Zlepšení Ra (v %)	Ø Ra (μm)
Na sucho	—	2,6095
Destilovaná voda	32	1,7817
SK 220	33	1,736
EOPS 1030	36	1,6583
LACTIC	47	1,3767
EOPS 2040	52	1,2498
ERO-SB PLUS	59	1,0606
ERO-SB	60	1,0522

Z tabulky a grafu pro ocel 15 260 bylo prokázáno, že při obrábění posuvem $f = 0,15 \text{ mm/ot}$ dosáhl parametr Ra zlepšení o 60% při použití procesní kapaliny Paramo ERO-SB. Nejmenší zlepšení parametru Ra se dosáhlo při obrábění procesní kapalinou Paramo SK 220. V tomto případě se zlepšení pohybovalo kolem 32% oproti soustružení za „sucha“.

Číselné hodnoty naměřených parametrů Ra pro ocel 19 436 jsou uvedeny v tabulce 18. Velikost parametru Ra při použití posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$ pro ocel 19 436 zobrazuje graf 20.



Graf 20 Vliv jednotlivých procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$ pro ocel 19 436

Tabulka 18 Zlepšení parametru drsnosti povrchu u jednotlivých procesních kapalin při posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$ pro ocel 19 436

Zlepšení povrchu pro ocel 19 436 při posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$		
Procesní kapalina	Zlepšení Ra (v %)	Ø Ra (μm)
Na sucho	—	3,5665
Destilovaná voda	35	2,3307
LACTIC	37	2,2428
SK 220	37,5	2,2411
ERO-SB PLUS	44	2,0016
ERO-SB	47	1,8862
EOPS 2040	48	1,8403
EOPS 1030	55	1,6101

V poslední části měření při zvoleném posuvu $f = 0,15 \text{ mm/ot}$ bylo zjištěno, že při obrábění materiálu 19 436 dochází k nejmenší tvorbě nárůstku při použití procesní kapaliny Paramo EOPS 1030. Zde se dosáhlo zlepšení parametru Ra o 55% oproti soustružení bez použití kapalin. K nejmenšímu zlepšení parametru Ra došlo při soustružení s použitím procesní kapaliny Paramo LACTIC. Zde se průměrné zlepšení pohybovalo o 35% oproti soustružení bez použití procesních kapalin.

Analýza laboratorních výsledků, vyvození závěrů

Bakalářská práce navrhuje, teoreticky a prakticky ověřuje zkušební metodiky pro hodnocení vlivu procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu Ra při soustružení konstrukčních ocelí. Dále hodnotí schopnost procesních kapalin pronikat do zóny obrábění a vytvářet tam mazací film. Experimentálně stanovené řezné podmínky prokázaly potenciální možnost jejich dalšího využití při navrhování a zkoušení procesních kapalin. Výsledky experimentu jsou přiloženy na předcházejících stránkách této bakalářské práce ve formě grafů a tabulek.

Volba optimálních řezných podmínek pro porovnání jednotlivých procesních kapalin

Jednou z hlavních částí experimentu bylo zjištění optimálních řezných podmínek pro porovnání procesních kapalin při soustružení konstrukčních ocelí. Ze získaných údajů byly vybrány vhodné řezné podmínky, které se použily v následné části této práce.

- Experiment prokázal, že hloubka řezu a_p v rozsahu $0,5 - 2 \text{ mm}$ nemá na parametr drsnosti a nosný podíl výrazný vliv. Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 12 020 a 14 340 se pohybovali v téměř konstantní míře. Pro porovnání jednotlivých procesních kapalin byla z důvodu úspory materiálu zvolena hloubka řezu $a_p = 0,5 \text{ mm}$.
- Z testovaného rozsahu řezné rychlosti $v_c = 1,5 - 52 \text{ m/min}$ bylo zjištěno, že nejvhodnější řezná rychlost pro testování procesních kapalin se nachází v rozsahu $v_c = 3 - 5 \text{ m/min}$. V této oblasti řezné rychlosti budou nejlépe patrné rozdíly drsnosti povrchu při soustružení za použití procesních kapalin.
- Měřením se došlo k závěru, že se zvyšujícím se posuvem hodnota parametru drsnosti roste.
 - Posuv $f1 = 0,05 \text{ mm/ot}$ vykazoval nejvíce ulpívající částice nárůstku na obrobeném povrchu, které ovlivňovaly parametr Ra . Testovaný posuv $f2 = 0,1 \text{ mm/ot}$ nevykazoval velké změny parametru Ra a tedy pro následné testování kapalin je nepodstatný. Posuv $f3 = 0,15 \text{ mm/ot}$ dosáhl největších hodnot parametru drsnosti Ra .

- Pro následný experiment s kapalinami byl zvolen z důvodu ulpívajících částic nárůstu na povrchu obrobeného vzorku posuv $f1 = 0,05 \text{ mm/ot}$ a také posuv $f3 = 0,15 \text{ mm/ot}$ z důvodu dosažení největších hodnot parametru drsnosti.

Porovnání jednotlivých procesních kapalin

Druhou částí experimentu bylo porovnání jednotlivých procesních kapalin.

Testování proběhlo za těchto zvolených řezných podmínek:

- hloubka řezu: $a_p = 0,5 \text{ mm}$
- řezná rychlost: $v_c = 3 - 5 \text{ m/min}$
- posuvy: $f1 = 0,05 \text{ mm/ot}$ a $f2 = 0,15 \text{ mm/ot}$
 - Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu Ra při soustružení konstrukčních ocelí posuvem $f1 = 0,05 \text{ mm/ot}$.
 - Při soustružení konstrukčních ocelí posuvem $f1 = 0,05 \text{ mm/ot}$ byly vyhodnoceny jako neúčinnější procesní kapaliny ERO SB PLUS, ERO SB a EOPS 2040. Tyto kapaliny vykazovaly zlepšení až o 60% oproti obrábění „za sucha”.
 - Horších výsledků bylo dosaženo skupinou procesních kapalin SK 220, LACTIC a EOPS 1030. Tyto kapaliny dosáhly průměrného zlepšení o 36% oproti obrábění „za sucha”.
 - Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu Ra při soustružení konstrukčních ocelí posuvem $f1 = 0,15 \text{ mm/ot}$.
 - Při obrábění konstrukčních ocelí posuvem $f1 = 0,15 \text{ mm/ot}$ byly také neúčinnější procesní kapaliny ERO SB PLUS, ERO SB a EOPS 2040. Zde se pohybovalo zlepšení průměrně o 40% oproti obrábění „za sucha”.
 - Horších výsledků bylo dosaženo jako v předchozím případě skupinou procesních kapalin SK 220, LACTIC a EOPS 1030. Tyto kapaliny dosáhly průměrného zlepšení o 30% oproti obrábění „za sucha”.
 - Z experimentu lze doporučit pro obrábění konstrukčních ocelí procení kapaliny ERO SB, ERO SB PLUS a EOPS 2040. Tyto kapaliny mají nejlepší schopnost pronikat do oblasti obrábění a vytvořit tam mazací film, což vede ke snížení tvorby nárůstu a zlepšení parametru drsnosti povrchu.

Seznam použité literatury

- [1] BUMBÁLEK, Bohumil. *Drsnost Povrchu*. SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1989, 338 s.
- [2] BUMBÁLEK, Bohumil. *Řezné kapaliny*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963, 136 s.
- [3] COROMANT, Sandvik. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. české vyd. Překlad Miroslav Kudela. Praha: Scientia, c1997, 601 s. ISBN 91-972299-4-6.
- [4] DOSTÁL, František. *Drsnost obrobených ploch*. Státní nakladatelství technické literatury, 1962, 118 s.
- [5] *Ekologie obrábění*. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, 2000, 98 s. Strojírenská technologie. ISBN 80-7044-232-8.
- [6] FISCHER, Ulrich. *Základy strojnictví*. 1. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2004, 290 s. ISBN 80-867-0609-5.
- [7] FREMUNT, Přemysl. *Konstrukční oceli*. 1. vyd. Brno: CERM, 1996, 261 s. ISBN 80-858-6795-8.
- [8] GAZDA, Jaromír. *Teorie obrábění: průvodce tvorbou třísky*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004, 112 s. ISBN 80-708-3789-6.
- [9] KARÁSEK, Ing. Jiří. *Metrologie a montáž (studijní podklady)* [online]. 2012 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.kom.tul.cz/soubory/mm_pod.zip
- [10] KOČMAN, Karel. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [11] MÁČALA, Adam. Vliv strategie obrábění na jakost povrchu při CNC frézování. Zlín, 2011. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická
- [12] MÁDL, Jan, Jindřich KAFKA a Martin VRABEC. *Technologie obrábění: 3. díl*. Praha: ČVUT, 2000, 79 s. ISBN 80-010-2091-6.
- [13] NOVÁK, Martin a František HOLEŠOVSKÝ. Studium integrity broušeného povrchu. [online]. [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://web.tuke.sk/fvtpo/journal/pdf08/2-str-11-13.pdf>

- [14] *Paramo - Katalog výrobků* [online]. 2007[cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.kvk.tym.sk/Paramo_katalog_vyrobu_2007.pdfalog/pdf/Turning%202012%20CZ%20PROG.pdf
- [15] *Pramet - Katalog obrábění* [online]. 2012[cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Turning%202012%20CZ%20PROG.pdf>
- [16] *Strojirenská technologie: časopis kateder obrábění a montáže a kateder příbuzných České a Slovenské republiky*. Ústí nad Labem: ÚJEP, 2011. ISSN 1211-4162.
- [17] STŘELCOVÁ, Radka. *Řezné kapaliny a jejich uplatnění v moderní výrobě*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.

Seznam grafů

Graf 1 Vliv hloubky řezu a_p [mm] na parametr drsnosti povrchu pro ocel 12 020	38
Graf 2 Vliv hloubky řezu a_p [mm] na nosný podíl pro ocel 12 020	38
Graf 3 Vliv hloubky řezu a_p [mm] na parametr drsnosti povrchu pro ocel 14 340	39
Graf 4 Vliv hloubky řezu a_p [mm] na nosný podíl pro ocel 14 340	39
Graf 5 Vliv řezné rychlosti na parametr drsnosti povrchu bez použití kapalin pro ocel 12 020	40
Graf 6 Vliv řezné rychlosti na parametr drsnosti povrchu bez použití kapalin pro ocel 14 320	41
Graf 7 Vliv řezné rychlosti na parametr drsnosti povrchu bez použití kapalin pro ocel 15 260	41
Graf 8 Vliv řezné rychlosti na parametr drsnosti povrchu bez použití kapalin pro ocel 19 436	42
Graf 9 Vliv posuvu f [mm/ot] na parametr drsnosti povrchu pro ocel 12 020	43
Graf 10 Vliv posuvu f [mm/ot] na parametr drsnosti povrchu pro ocel 14 340	43
Graf 11 Vliv posuvu f [mm/ot] na parametr drsnosti povrchu pro ocel 15 260	44
Graf 12 Vliv posuvu f [mm/ot] na parametr drsnosti povrchu pro ocel 19 436	44
Graf 13 Vliv jednotlivých procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při posuvu $f = 0,05$ mm/ot pro ocel 12 020	46
Graf 14 Vliv jednotlivých procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při posuvu $f = 0,05$ mm/ot pro ocel 14 340	48
Graf 15 Vliv jednotlivých procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při posuvu $f = 0,05$ mm/ot pro ocel 15 260	49
Graf 16 Vliv jednotlivých procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při posuvu $f = 0,05$ mm/ot pro ocel 19 436	50
Graf 17 Vliv jednotlivých procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při posuvu $f = 0,15$ mm/ot pro ocel 12 020	51
Graf 18 Vliv jednotlivých procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při posuvu $f = 0,15$ mm/ot pro ocel 14 340	52
Graf 19 Vliv jednotlivých procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při posuvu $f = 0,15$ mm/ot pro ocel 15 260	53
Graf 20 Vliv jednotlivých procesních kapalin na parametr drsnosti povrchu při posuvu $f = 0,15$ mm/ot pro ocel 19 436	54

Seznam obrázků

Obrázek 1 Zobrazení drsností, nerovností a odchylek tvaru	12
Obrázek 2 Zbytková napětí po obrábění.....	14
Obrázek 3 Střední aritmetická úchylka profilu Ra	16
Obrázek 4 Největší výška nerovnosti profilu Rz.....	17
Obrázek 5 Největší výška výstupku profilu Rp.....	17
Obrázek 6 Největší hloubka prohlubně profilu Rv.....	18
Obrázek 7 Metoda světelného řezu	19
Obrázek 8 Interferenční metoda	20
Obrázek 9 Dotyková metoda	20
Obrázek 10 Schéma odchodu částic nárůstku s třískou a po obrobeném povrchu.....	21
Obrázek 11 Rozdělení procesních kapalin	22
Obrázek 12 Vzorky vodou mísitelných procesních kapalin.....	25
Obrázek 13 Ruční refraktometr	30
Obrázek 14 Soustruh SU-50	33
Obrázek 15 Soustružnický nůž vnější od firmy Pramet Tools, s.r.o	34
Obrázek 16 Materiál břitové destičky TPUN 160304 S30.....	35
Obrázek 17 Parametry břitové destičky TPUN 160304 S30.....	35
Obrázek 18 Měření drsnosti na přístroji Mitutoyo SV-2000.....	36

Seznam tabulek

Tabulka 1 Parametry procesní kapaliny PARAMO ERO – SB	26
Tabulka 2 Parametry procesní kapaliny PARAMO ERO – SB PLUS	26
Tabulka 3 Parametry procesní kapaliny PARAMO SK 220	27
Tabulka 4 Parametry procesní kapaliny PARAMO LACTIC	28
Tabulka 5 Parametry procesní kapaliny PARAMO EOPS 1030	29
Tabulka 6 Parametry procesní kapaliny PARAMO EOPS 2040	29
Tabulka 7 Složení oceli 12 020 v %	31
Tabulka 8 Složení oceli 14 340 v %	31
Tabulka 9 Složení oceli 15 260 v %	32
Tabulka 10 Složení oceli 19 436 v %	32
Tabulka 11 Zlepšení parametru drsnosti povrchu u jednotlivých procesních kapalin při posuvu f = 0,05 mm/ot pro ocel 12 020	47
Tabulka 12 Zlepšení parametru drsnosti povrchu u jednotlivých procesních kapalin při posuvu f = 0,05 mm/ot pro ocel 14 340	48
Tabulka 13 Zlepšení parametru drsnosti povrchu u jednotlivých procesních kapalin při posuvu f = 0,05 mm/ot pro ocel 15 260	49
Tabulka 14 Zlepšení parametru drsnosti povrchu u jednotlivých procesních kapalin při posuvu f = 0,05 mm/ot pro ocel 19 436	50
Tabulka 15 Zlepšení parametru drsnosti povrchu u jednotlivých procesních kapalin při posuvu f = 0,15 mm/ot pro ocel 12 020	51
Tabulka 16 Zlepšení parametru drsnosti povrchu u jednotlivých procesních kapalin při posuvu f = 0,15 mm/ot pro ocel 14 340	52
Tabulka 17 Zlepšení parametru drsnosti povrchu u jednotlivých procesních kapalin při posuvu f = 0,15 mm/ot pro ocel 15 260	53
Tabulka 18 Zlepšení parametru drsnosti povrchu u jednotlivých procesních kapalin při posuvu f = 0,15 mm/ot pro ocel 19 436	54

Seznam příloh

Příloha A Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro různé hloubky řezu bez použití procesních kapalin	1
Příloha B Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro řezné rychlosti bez použití procesních kapalin.....	3
Příloha C Naměřené hodnoty drsnosti povrchu při použití vybraných posuvů bez použití procesních kapalin	9
Příloha D Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro jednotlivé procesní kapaliny při použití posuvu $f = 0,05$ mm/ot.....	11
Příloha E Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro jednotlivé procesní kapaliny při použití posuvu $f = 0,15$ mm/ot.....	13

Přílohy

Příloha A Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro různé hloubky řezu bez použití procesních kapalin

Příloha 1 Naměřené hodnoty drsnosti Ra pro různé hloubky řezu ap při soustružení bez použití procesních kapalin pro ocel 12 020

Ocel 12 020 naměřené hodnoty drsnosti Ra pro různé hloubky řezu ap při soustružení bez použití procesních kapalin													
Hloubka třísky		1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)		Průměrná hodnota
ap1 = 0,5 mm	Drsnost Ra [μm]	2,375	2,436	2,378	2,497	2,333	2,336	2,489	2,328	2,225	2,468		2,387
ap2 = 1 mm	Drsnost Ra [μm]	2,464	2,401	2,367	2,411	2,359	2,289	2,498	2,227	2,374	2,319		2,371
ap3 = 1,5 mm	Drsnost Ra [μm]	2,519	2,338	2,273	2,427	2,241	2,377	2,434	2,392	2,405	2,429		2,384
ap4 = 2 mm	Drsnost Ra [μm]	2,483	2,469	2,335	2,528	2,362	2,272	2,423	2,331	2,569	2,581		2,435

Příloha 2 Naměřené hodnoty drsnosti Ra pro různé hloubky řezu ap při soustružení bez použití procesních kapalin pro ocel 14 340

Ocel 14 340 naměřené hodnoty drsnosti Ra pro různé hloubky řezu ap při soustružení bez použití procesních kapalin													
Hloubka třísky		1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)		Průměrná hodnota
ap1 = 0,5 mm	Drsnost Ra [μm]	2,141	2,289	2,117	2,056	1,907	2,127	2,142	2,181	2,214	1,962		2,114
ap2 = 1 mm	Drsnost Ra [μm]	2,005	1,963	2,004	2,359	1,839	2,225	2,104	2,367	1,969	2,082		2,092
ap3 = 1,5 mm	Drsnost Ra [μm]	2,006	2,373	2,254	1,963	2,208	2,176	2,291	1,896	1,863	2,048		2,108
ap4 = 2 mm	Drsnost Ra [μm]	2,364	1,968	1,781	2,099	2,231	2,251	2,146	2,343	2,101	1,790		2,107

Příloha 3 Naměřené hodnoty nosného podílu ctp50 pro různé hloubky řezu ap při soustružení bez použití procesních kapalin pro ocel 12 020

Ocel 12 020 naměřené hodnoty nosného podílu ctp50 pro různé hloubky řezu ap při soustružení bez použití procesních kapalin												
Hloubka třísky		1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	Průměrná hodnota
ap1 = 0,5 mm	Drsnost Ra [μm]	7,721	7,416	7,578	7,697	7,633	7,539	7,409	7,528	7,529	7,978	7,603
ap2 = 1 mm	Drsnost Ra [μm]	7,986	7,941	8,277	8,311	8,259	8,284	8,231	8,292	8,154	8,314	8,232
ap3 = 1,5 mm	Drsnost Ra [μm]	7,880	7,626	7,547	7,678	7,777	7,763	7,749	7,740	7,769	7,714	7,760
ap4 = 2 mm	Drsnost Ra [μm]	7,666	7,691	7,624	7,510	7,717	7,581	7,532	7,456	7,558	7,539	7,593

Příloha 4 Naměřené hodnoty nosného podílu ctp50 pro různé hloubky řezu ap při soustružení bez použití procesních kapalin pro ocel 14 340

Ocel 14 340 naměřené hodnoty nosného podílu ctp50 pro různé hloubky řezu ap při soustružení bez použití procesních kapalin												
Hloubka třísky		1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	Průměrná hodnota
ap1 = 0,5 mm	Drsnost Ra [μm]	7,289	7,244	7,321	7,392	7,312	7,333	7,242	7,299	7,304	7,298	7,321
ap2 = 1 mm	Drsnost Ra [μm]	7,172	7,263	7,264	7,259	7,255	7,225	7,204	7,287	7,279	7,282	7,268
ap3 = 1,5 mm	Drsnost Ra [μm]	7,299	7,273	7,294	7,308	7,312	7,311	7,291	7,296	7,314	7,320	7,318
ap4 = 2 mm	Drsnost Ra [μm]	7,364	7,314	7,300	7,306	7,311	7,356	7,309	7,313	7,316	7,315	7,311

Příloha B Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro řezné rychlosti bez použití procesních kapalin

Příloha 5 Naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti vc při posuvu: $f = 0,05$ mm/ot, bez použití procesních kapalin pro ocel 12 020

Ocel 12 020, naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti vc při posuvu: $f = 0,05$ mm/ot, bez použití procesních kapalin		
Otáčky n [ot/min]	Průměrné hodnoty drsnosti Ra	vc [m/min]
11,2	1,4491	1,8076
14	1,5161	2,2595
18	1,1546	2,9051
22,4	1,0703	3,6153
28	2,2129	4,5191
35	2,3544	5,6489
45	2,5432	7,2628
56	2,0398	9,0382
71	1,9222	11,4591
90	2,0123	14,5256
112	1,5211	18,0764
140	1,4011	22,5954
180	1,3922	29,0513
224	1,3000	36,1527

Příloha 6 Naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti vc při posuvu: $f = 0,15$ mm/ot, bez použití procesních kapalin pro ocel 12 020

Ocel 12 020, naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti vc při posuvu: $f = 0,15$ mm/ot, bez použití procesních kapalin		
Otáčky n [ot/min]	Průměrné hodnoty drsnosti Ra	vc [m/min]
11,2	2,4638	1,8076
14	2,5322	2,2595
18	2,5574	2,9051
22,4	3,3233	3,6153
28	3,1622	4,5191
35	3,2233	5,6489
45	3,4722	7,2628
56	4,0221	9,0382
71	3,7635	11,4591
90	3,5733	14,5256
112	3,0223	18,0764
140	2,9022	22,5954
180	2,8233	29,0513
224	2,7233	36,1527

Příloha 7 Naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti v_c při posuvu: $f = 0,1$ mm/ot, bez použití procesních kapalin pro ocel 12 020

Ocel 12 020, naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti v_c při posuvu: $f = 0,1$ mm/ot, bez použití procesních kapalin		
Otáčky n [ot/min]	Průměrné hodnoty drsnosti R_a	v_c [m/min]
11,2	1,9760	1,8076
14	2,3000	2,2595
18	2,3120	2,9051
22,4	2,3680	3,6153
28	2,9194	4,5191
35	2,7363	5,6489
45	3,2287	7,2628
56	3,3130	9,0382
71	3,2746	11,4591
90	2,6978	14,5256
112	2,2543	18,0764
140	2,2131	22,5954
180	2,0726	29,0513
224	1,8555	36,1527

Příloha 8 Naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti v_c při posuvu: $f = 0,05$ mm/ot, bez použití procesních kapalin pro ocel 14 340

Ocel 14 340, naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti v_c při posuvu: $f = 0,05$ mm/ot, bez použití procesních kapalin		
Otáčky n [ot/min]	Průměrné hodnoty drsnosti R_a	v_c [m/min]
11,2	3,8401	1,0550
14	2,9350	1,3188
18	2,5582	1,6956
22,4	2,1059	2,1101
28	2,6719	2,6376
35	2,2902	3,2970
45	2,1535	4,2390
56	1,8382	5,2752
71	1,3896	6,6882
90	1,1305	8,4780
112	1,0269	10,5504
140	0,8355	13,1880
180	0,8007	16,9560
224	0,7769	21,1008

Příloha 9 Naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti v_c při posuvu: $f = 0,15 \text{ mm/ot}$, bez použití procesních kapalin pro ocel 14 340

Ocel 14 340, naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti v_c při posuvu: $f = 0,15 \text{ mm/ot}$, bez použití procesních kapalin		
Otáčky n [ot/min]	Průměrné hodnoty drsnosti R_a	v_c [m/min]
11,2	5,4431	1,0550
14	5,4432	1,3188
18	5,4500	1,6956
22,4	5,4811	2,1101
28	5,4812	2,6376
35	5,2322	3,2970
45	4,9625	4,2390
56	4,4531	5,2752
71	4,5495	6,6882
90	4,0945	8,4780
112	3,2713	10,5504
140	2,7281	13,1880
180	2,5195	16,9560
224	2,5099	21,1008

Příloha 10 Naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti v_c při posuvu: $f = 0,1 \text{ mm/ot}$, bez použití procesních kapalin pro ocel 14 340

Ocel 14 340, naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti v_c při posuvu: $f = 0,1 \text{ mm/ot}$, bez použití procesních kapalin		
Otáčky n [ot/min]	Průměrné hodnoty drsnosti R_a	v_c [m/min]
11,2	2,6010	1,0550
14	2,3982	1,3188
18	2,4320	1,6956
22,4	3,3222	2,1101
28	4,1405	2,6376
35	3,4626	3,2970
45	2,7848	4,2390
56	2,7805	5,2752
71	2,2312	6,6882
90	1,9992	8,4780
112	2,0302	10,5504
140	1,4986	13,1880
180	1,1741	16,9560
224	1,0470	21,1008

Příloha 11 Naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti v_c při posuvu: $f = 0,05$ mm/ot, bez použití procesních kapalin pro ocel 15 260

Ocel 15 260, naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti v_c při posuvu: $f = 0,05$ mm/ot, bez použití procesních kapalin		
Otáčky n [ot/min]	Průměrné hodnoty drsnosti R_a	v_c [m/min]
11,2	1,8419	2,6024
14	1,4319	3,2530
18	1,3022	4,1825
22,4	2,2000	5,2049
28	2,1000	6,5061
35	2,0020	8,1326
45	1,9520	10,4562
56	1,8299	13,0122
71	1,8604	16,4976
90	1,6683	20,9124
112	1,2674	26,0243
140	0,9725	32,5304
180	0,8446	41,8248
224	0,7500	52,0486

Příloha 12 Naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti v_c při posuvu: $f = 0,15$ mm/ot, bez použití procesních kapalin pro ocel 15 260

Ocel 15 260, naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti v_c při posuvu: $f = 0,15$ mm/ot, bez použití procesních kapalin		
Otáčky n [ot/min]	Průměrné hodnoty drsnosti R_a	v_c [m/min]
11,2	3,0163	2,6024
14	2,6095	3,2530
18	3,3382	4,1825
22,4	3,2761	5,2049
28	3,4613	6,5061
35	3,4074	8,1326
45	3,2532	10,4562
56	3,1892	13,0122
71	2,8542	16,4976
90	2,7233	20,9124
112	2,7000	26,0243
140	2,6582	32,5304
180	2,5622	41,8248
224	2,4022	52,0486

Příloha 13 Naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti vc při posuvu: $f = 0,1$ mm/ot, bez použití procesních kapalin pro ocel 15 260

Ocel 15 260, naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti vc při posuvu: $f = 0,1$ mm/ot, bez použití procesních kapalin		
Otáčky n [ot/min]	Průměrné hodnoty drsnosti R_a	vc [m/min]
11,2	2,8300	2,6024
14	2,8301	3,2530
18	2,8400	4,1825
22,4	2,8421	5,2049
28	2,8545	6,5061
35	3,0261	8,1326
45	2,6661	10,4562
56	2,1142	13,0122
71	2,1142	16,4976
90	2,0293	20,9124
112	1,9558	26,0243
140	1,7150	32,5304
180	1,4907	41,8248
224	1,3504	52,0486

Příloha 14 Naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti vc při posuvu: $f = 0,05$ mm/ot, bez použití procesních kapalin pro ocel 19 436

Ocel 19 436, naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti vc při posuvu: $f = 0,05$ mm/ot, bez použití procesních kapalin		
Otáčky n [ot/min]	Průměrné hodnoty drsnosti R_a	vc [m/min]
11,2	2,3549	1,0550
14	2,4710	1,3188
18	2,1724	1,6956
22,4	1,9221	2,1101
28	1,6701	2,6376
35	2,4722	3,2970
45	2,3522	4,2390
56	2,2311	5,2752
71	2,1978	6,6882
90	2,1972	8,4780
112	2,0153	10,5504
140	1,6298	13,1880
180	1,3150	16,9560
224	1,0977	21,1008

Příloha 15 Naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti v_c při posuvu: $f = 0,15$ mm/ot, bez použití procesních kapalin pro ocel 19 436

Ocel 19 436 naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti v_c při posuvu: $f = 0,15$ mm/ot, bez použití procesních kapalin		
Otáčky n [ot/min]	Průměrné hodnoty drsnosti R_a	v_c [m/min]
11,2	4,1230	1,0550
14	3,9931	1,3188
18	3,7354	1,6956
22,4	3,8743	2,1101
28	3,5665	2,6376
35	4,0332	3,2970
45	3,8813	4,2390
56	3,3646	5,2752
71	3,6942	6,6882
90	3,7032	8,4780
112	3,0239	10,5504
140	2,5823	13,1880
180	2,5547	16,9560
224	2,3728	21,1008

Příloha 16 Naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti v_c při posuvu: $f = 0,1$ mm/ot, bez použití procesních kapalin pro ocel 19 436

Ocel 19 436, naměřené průměrné hodnoty drsnosti pro různé řezné rychlosti v_c při posuvu: $f = 0,1$ mm/ot, bez použití procesních kapalin		
Otáčky n [ot/min]	Průměrné hodnoty drsnosti R_a	v_c [m/min]
11,2	2,9782	1,0550
14	2,9800	1,3188
18	2,9801	1,6956
22,4	2,9923	2,1101
28	2,8722	2,6376
35	2,8213	3,2970
45	2,8022	4,2390
56	2,7872	5,2752
71	2,3835	6,6882
90	2,5341	8,4780
112	2,4088	10,5504
140	2,3004	13,1880
180	2,0342	16,9560
224	1,3612	21,1008

Příloha C Naměřené hodnoty drsnosti povrchu při použití vybraných posuvů bez použití procesních kapalin

Příloha 17 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 12 020 při použití různých posuvů f

Ocel 12 020, naměřené hodnoty parametru drsnosti Ra při použití různých posuvů f												
Velikost posuvu		1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	Průměrná hodnota
f = 0,05 mm/ot	Drsnost Ra [μm]	1,692	1,690	1,729	1,730	1,689	1,689	1,671	1,720	1,729	1,732	1,7071
f = 0,1mm/ot	Drsnost Ra [μm]	2,523	2,500	2,642	2,638	2,599	2,671	2,678	2,752	2,666	2,609	2,6278
f = 0,15 mm/ot	Drsnost Ra [μm]	3,112	3,090	3,180	3,276	3,089	3,167	3,159	2,998	3,099	2,992	3,1162

Příloha 18 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 14 340 při použití různých posuvů f

Ocel 14 340, naměřené hodnoty parametru drsnosti Ra při použití různých posuvů f												
Velikost posuvu		1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	Průměrná hodnota
f = 0,05 mm/ot	Drsnost Ra [μm]	1,882	1,883	1,899	1,809	1,837	1,835	1,899	1,892	1,905	1,926	1,8767
f = 0,1mm/ot	Drsnost Ra [μm]	2,320	2,319	2,409	2,405	2,282	2,399	2,320	2,276	2,299	2,282	2,3311
f = 0,15 mm/ot	Drsnost Ra [μm]	3,782	3,993	4,128	4,224	4,163	4,257	4,092	3,992	4,159	4,186	4,0976

Příloha 19 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 15 260 při použití různých posuvů f

Ocel 15 260, naměřené hodnoty parametru drsnosti Ra při použití různých posuvů f												
Velikost posuvu		1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	Průměrná hodnota
f = 0,05 mm/ot	Drsnost Ra [μm]	1,473	1,478	1,573	1,578	1,602	1,583	1,602	1,634	1,600	1,592	1,5715
f = 0,1mm/ot	Drsnost Ra [μm]	2,189	2,188	2,175	2,174	2,209	2,210	2,197	2,156	2,187	2,209	2,1894
f = 0,15 mm/ot	Drsnost Ra [μm]	2,870	2,662	2,992	3,306	3,111	3,012	3,336	2,998	2,801	2,604	2,9692

Příloha 20 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 19 436 při použití různých posuvů f

Ocel 19 436, naměřené hodnoty parametru drsnosti Ra při použití různých posuvů f												
Velikost posuvu		1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	Průměrná hodnota
f = 0,05 mm/ot	Drsnost Ra [μm]	2,006	1,999	1,992	2,080	2,004	2,108	2,014	1,992	1,993	1,900	2,0088
f = 0,1mm/ot	Drsnost Ra [μm]	2,460	2,487	2,444	2,532	2,399	2,444	2,482	2,561	2,500	2,499	2,4808
f = 0,15 mm/ot	Drsnost Ra [μm]	3,465	3,464	3,489	3,452	3,522	3,396	3,465	3,470	3,452	3,464	3,4639

Příloha D Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro jednotlivé procesní kapaliny při použití posuvu $f = 0,05$ mm/ot

Příloha 21 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 12 020 při posuvu $f = 0,05$ mm/ot, řezné rychlosti $v_c = 3-5$ m/min a hloubce záběru $a_p = 0,5$ mm

Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 12 020 při posuvu $f = 0,05$ mm/ot								
Č. měření	Druh kapaliny							
	EOPS 1030 Ra [μ m]	ERO-SB PLUS Ra [μ m]	ERO-SB Ra [μ m]	LACTIC Ra [μ m]	Eops 2040 Ra [μ m]	H2O Ra [μ m]	SK 220 Ra [μ m]	Na sucho Ra [μ m]
1)	0,669	0,515	0,539	0,739	0,497	0,843	0,708	1,06
2)	0,636	0,489	0,598	0,675	0,498	0,878	0,787	1,298
3)	0,646	0,537	0,501	0,68	0,474	0,845	0,687	1,049
4)	0,617	0,434	0,572	0,757	0,483	0,914	0,718	1,187
5)	0,653	0,448	0,521	0,668	0,499	0,848	0,635	1,073
6)	0,688	0,443	0,534	0,634	0,421	0,829	0,685	1,098
7)	0,643	0,482	0,575	0,626	0,419	0,808	0,742	1,076
8)	0,668	0,455	0,514	0,71	0,499	0,877	0,848	1,594
9)	0,653	0,434	0,522	0,625	0,485	0,825	0,771	1,109
10)	0,607	0,438	0,516	0,666	0,475	0,817	0,722	1,002
Průměrná hodnota	0,648	0,4675	0,5392	0,678	0,475	0,8484	0,7303	1,1546

Příloha 22 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 14 340 při posuvu $f = 0,05$ mm/ot, řezné rychlosti $v_c = 3-5$ m/min a hloubce záběru $a_p = 0,5$ mm

Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 14 430 při posuvu $f = 0,05$ mm/ot								
Č. měření	Druh kapaliny							
	EOPS 1030 Ra [μ m]	ERO-SB PLUS Ra [μ m]	ERO-SB Ra [μ m]	LACTIC Ra [μ m]	Eops 2040 Ra [μ m]	H2O Ra [μ m]	SK 220 Ra [μ m]	Na sucho Ra [μ m]
1)	1,758	1,688	1,514	1,823	1,569	2,244	2,073	2,722
2)	1,789	1,654	1,525	1,837	1,579	2,242	2,072	3,064
3)	1,792	1,724	1,528	1,803	1,556	2,042	2,156	2,522
4)	1,776	1,713	1,442	1,765	1,501	2,117	2,085	2,574
5)	1,786	1,739	1,54	1,758	1,575	2,274	2,186	2,585
6)	1,793	1,774	1,624	1,87	1,51	2,224	2,008	2,277
7)	1,801	1,646	1,451	1,883	1,574	2,214	2,174	2,56
8)	1,847	1,749	1,549	1,707	1,511	2,294	2,182	2,422
9)	1,66	1,626	1,626	1,77	1,562	2,154	2,061	2,875
10)	1,664	1,698	1,456	1,888	1,606	2,264	2,058	3,118
Průměrná hodnota	1,7666	1,7011	1,5255	1,8104	1,5543	2,2069	2,1055	2,6719

Příloha 23 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 15 260 při posuvu $f = 0,05$ mm/ot, řezné rychlosti $v_c = 3-5$ m/min a hloubce záběru $a_p = 0,5$ mm

Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 15260 při posuvu $f = 0,05$ mm/ot								
Č. měření	Druh kapaliny							
	EOPS 1030 Ra [μ m]	ERO-SB PLUS Ra [μ m]	ERO-SB Ra [μ m]	LACTIC Ra [μ m]	Eops 2040 Ra [μ m]	H2O Ra [μ m]	SK 220 Ra [μ m]	Na sucho Ra [μ m]
1)	0,606	0,435	0,442	1,063	0,604	1,197	0,756	1,503
2)	0,668	0,459	0,471	1,054	0,573	1,162	0,71	1,116
3)	0,683	0,466	0,447	1,097	0,584	1,177	0,795	1,643
4)	0,648	0,434	0,445	1,062	0,589	1,164	0,792	1,305
5)	0,691	0,488	0,475	1,052	0,607	1,14	0,75	1,519
6)	0,683	0,489	0,435	1,069	0,608	1,157	0,729	1,208
7)	0,634	0,431	0,435	0,995	0,579	1,221	0,724	1,05
8)	0,677	0,455	0,441	0,946	0,57	1,222	0,734	1,747
9)	0,665	0,469	0,477	0,936	0,59	1,225	0,722	1,573
10)	0,636	0,47	0,461	1,074	0,578	1,139	0,748	1,655
Průměrná hodnota	0,6591	0,4596	0,4529	1,0348	0,5882	1,1804	0,746	1,4319

Příloha 24 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 19 436 při posuvu $f = 0,05$ mm/ot, řezné rychlosti $v_c = 3-5$ m/min a hloubce záběru $a_p = 0,5$ mm

Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 19 436 při posuvu $f = 0,05$ mm/ot								
Č. měření	Druh kapaliny							
	EOPS 1030 Ra [μ m]	ERO-SB PLUS Ra [μ m]	ERO-SB Ra [μ m]	LACTIC Ra [μ m]	Eops 2040 Ra [μ m]	H2O Ra [μ m]	SK 220 Ra [μ m]	Na sucho Ra [μ m]
1)	1,032	0,888	0,65	1,474	0,577	1,533	1,144	1,6221
2)	0,999	0,867	0,755	1,478	0,515	1,537	1,035	1,844
3)	0,921	0,824	0,722	1,237	0,522	1,453	1,032	1,616
4)	0,922	0,83	0,699	1,386	0,567	1,456	1,183	1,515
5)	0,922	0,829	0,742	1,391	0,545	1,4	1,185	1,743
6)	0,978	0,869	0,743	1,321	0,556	1,405	1,072	1,463
7)	0,996	0,933	0,737	1,376	0,601	1,519	1,075	1,607
8)	0,972	0,946	0,791	1,379	0,572	1,522	1,161	1,92
9)	0,935	0,907	0,669	1,415	0,521	1,463	1,166	1,63
10)	0,937	0,91	0,672	1,417	0,5	1,47	1,191	1,741
Průměrná hodnota	0,9614	0,8803	0,718	1,3874	0,5476	1,4758	1,1244	1,67011

Příloha E Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro jednotlivé procesní kapaliny při použití posuvu $f = 0,15$ mm/ot

Příloha 25 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 12 020 při posuvu $f = 0,15$ mm/ot, řezné rychlosti $v_c = 3-5$ m/min a hloubce záběru $a_p = 0,5$ mm

Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 12 020 při posuvu $f = 0,15$ mm/ot								
Č. měření	Druh kapaliny							
	EOPS 1030 Ra [μ m]	ERO-SB PLUS Ra [μ m]	ERO-SB Ra [μ m]	LACTIC Ra [μ m]	Eops 2040 Ra [μ m]	H2O Ra [μ m]	SK 220 Ra [μ m]	Na sucho Ra [μ m]
1)	1,677	1,101	1,363	1,649	1,247	1,712	1,628	2,576
2)	1,649	1,145	1,398	1,622	1,221	1,76	1,633	2,863
3)	1,686	1,12	1,389	1,648	1,234	1,691	1,642	2,236
4)	1,618	1,049	1,401	1,604	1,25	1,694	1,609	2,317
5)	1,643	1,093	1,428	1,626	1,277	1,792	1,659	2,448
6)	1,644	1,142	1,403	1,656	1,236	1,77	1,613	2,866
7)	1,679	1,16	1,46	1,648	1,264	1,672	1,675	2,863
8)	1,632	1,133	1,412	1,634	1,273	1,715	1,673	2,643
9)	1,632	1,111	1,454	1,631	1,208	1,644	1,603	2,489
10)	1,66	1,081	1,441	1,638	1,202	1,752	1,615	2,273
Průměrná hodnota	1,652	1,1135	1,4149	1,6356	1,2412	1,7202	1,635	2,5574

Příloha 26 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 14 340 při posuvu $f = 0,15$ mm/ot, řezné rychlosti $v_c = 3-5$ m/min a hloubce záběru $a_p = 0,5$ mm

Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 14 430 při posuvu $f = 0,15$ mm/ot								
Č. měření	Druh kapaliny							
	EOPS 1030 Ra [μ m]	ERO-SB PLUS Ra [μ m]	ERO-SB Ra [μ m]	LACTIC Ra [μ m]	Eops 2040 Ra [μ m]	H2O Ra [μ m]	SK 220 Ra [μ m]	Na sucho Ra [μ m]
1)	5,596	4,231	4,283	5,417	4,321	5,546	5,344	5,104
2)	5,17	4,747	4,525	5,289	4,198	5,128	5,526	5,303
3)	4,983	4,648	4,823	4,828	4,488	5,118	5,359	5,233
4)	4,059	4,313	4,479	5,447	4,519	5,059	4,7	5,393
5)	4,971	4,559	4,808	5,593	4,336	5,28	5,351	5,547
6)	5,334	4,562	4,109	4,652	4,648	5,277	5,085	5,171
7)	5,306	4,481	4,518	4,695	4,766	5,54	5,118	5,862
8)	5,586	4,457	4,515	5,143	4,804	5,535	5,163	5,74
9)	4,896	4,232	4,759	4,894	4,234	4,938	5,13	5,706
10)	5,19	4,402	4,089	5,465	4,934	4,928	5,293	5,753
Průměrná hodnota	5,1091	4,4632	4,4908	5,1423	4,5248	5,2349	5,2069	5,4812

Příloha 27 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 15 260 při posuvu $f = 0,15$ mm/ot, řezné rychlosti $v_c = 3-5$ m/min a hloubce záběru $a_p = 0,5$ mm

Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 15260 při posuvu $f = 0,15$ mm/ot								
Č. měření	Druh kapaliny							
	EOPS 1030 Ra [μm]	ERO-SB PLUS Ra [μm]	ERO-SB Ra [μm]	LACTIC Ra [μm]	Eops 2040 Ra [μm]	H2O Ra [μm]	SK 220 Ra [μm]	Na sucho Ra [μm]
1)	1,669	1,077	1,056	1,445	1,261	1,773	1,76	2,626
2)	1,616	1,109	1,042	1,4	1,24	1,84	1,719	2,641
3)	1,673	1,029	0,991	1,362	1,239	1,804	1,762	2,685
4)	1,661	1,123	1,004	1,387	1,254	1,752	1,777	2,743
5)	1,657	0,995	1,097	1,398	1,209	1,764	1,767	2,515
6)	1,664	1,026	1,024	1,354	1,26	1,762	1,706	2,719
7)	1,648	1,057	1,074	1,381	1,274	1,785	1,732	2,377
8)	1,665	1,03	1,041	1,364	1,263	1,773	1,703	2,442
9)	1,651	1,058	1,094	1,323	1,202	1,765	1,708	2,595
10)	1,679	1,102	1,099	1,353	1,296	1,799	1,726	2,752
Průměrná hodnota	1,6583	1,0606	1,0522	1,3767	1,2498	1,7817	1,736	2,6095

Příloha 28 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 19 436 při posuvu $f = 0,15$ mm/ot, řezné rychlosti $v_c = 3-5$ m/min a hloubce záběru $a_p = 0,5$ mm

Naměřené hodnoty drsnosti povrchu pro ocel 19 436 při posuvu $f = 0,15$ mm/ot								
Č. měření	Druh kapaliny							
	EOPS 1030 Ra [μm]	ERO-SB PLUS Ra [μm]	ERO-SB Ra [μm]	LACTIC Ra [μm]	Eops 2040 Ra [μm]	H2O Ra [μm]	SK 220 Ra [μm]	Na sucho Ra [μm]
1)	1,556	2,001	1,899	2,368	1,88	2,44	2,215	3,407
2)	1,558	1,981	1,902	2,371	1,869	2,453	2,236	3,599
3)	1,571	1,997	1,904	2,373	1,975	2,458	2,237	3,695
4)	1,771	1,82	1,913	2,135	1,785	2,464	2,375	3,542
5)	1,737	2,089	1,92	2,138	1,855	2,581	2,299	3,414
6)	1,744	2,097	1,921	2,181	1,813	2,292	2,306	3,777
7)	1,533	1,92	1,926	2,335	1,817	2,293	2,243	3,686
8)	1,539	1,918	1,753	2,172	1,818	2,412	2,235	3,553
9)	1,543	2,096	1,808	2,169	1,799	2,413	2,131	3,584
10)	1,549	2,097	1,916	2,186	1,792	1,501	2,134	3,408
Průměrná hodnota	1,6101	2,0016	1,8862	2,2428	1,8403	2,3307	2,2411	3,5665